

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Vliv provozu na svodiče přepětí vn a vvn
Influence on the operation of MV and HV surge arrester

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Daněk**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Vliv provozu na svodiče přepětí vn a vvn**
Influence on the operation of MV and HV surge arrester

Zásady pro vypracování:

1. Definujte obecné pojmy vnějších vlivů ovlivňujících provoz elektrických zařízení.
2. Rozeberte problematiku přepětí a jejich vlivu na chod rozvodu vn a vvn.
3. Na vybraném typu svodiče přepětí realizujte simulaci přechodného děje.
4. Definujte diagnostické metody pro sledování vlivu provozu na stav svodičů přepětí.
5. Rozeberte dosažené výsledky.

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle pokynů vedoucího diplomové práce.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2013
Datum odevzdání: 07.05.2014




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 22. 4. 2014...


Bc. Jiří Daněk

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc., za odborné vedení a cenné připomínky při zpracování této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je popis vlivu provozu na svodiče přepětí vysokého a velmi vysokého napětí. Byly popsány možnosti sledování vlivů na svodiče přepětí a provádění jejich diagnostiky. Data získané měřením a pozorováním provozovaných přístrojů byly vyhodnoceny v této práci. K vypracování této diplomové práce byly využity praktické zkušenosti získané při provádění diagnostiky strojů a přístrojů.

Klíčová slova

vliv provozu, přepětí, svodič přepětí, omezovač přepětí, diagnostika

Abstract

The objective of this thesis is to assess the influence on the operation of MV and HV surge arresters. Ways of monitoring effects on surge arresters and their diagnostics have been described. Results obtained by measurements and observations have been analysed. This work has been done based on practical experience acquired while performing the diagnosis of high voltage devices.

Key words

influence on the operation, overvoltage, overvoltage surges, surge arresters, diagnostics

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	název	jednotka
f	frekvence	[Hz]
I	elektrický proud	[A]
t	čas	[s]
T	teplota	[K]
U	elektrické napětí	[V]
C	kapacita	[F]
L	indukčnost	[H]
W	energie	[J]
R	odpor	[Ω]
ω	úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]

Zkratka	význam
---------	--------

AC	střídavé napětí
Bi ₂ O ₃	oxid bismutitý
Crest	reziduální napětí
Cr ₂ O ₃	oxid chromitý
EMC	elektromagnetická kompatibilita
IT	síť s izolovaným nulovým bodem
N	pracovní vodič
NN	nízké napětí
PE	ochranný vodič
PEN	vodič slučující funkci ochranného a středního vodiče
RMS	jmenovité střídavé výdržné napětí
SiC	karbid křemíku
SPD	svodič přepětí
VA	voltampérová charakteristika
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
ZnO	oxid zinku

Seznam použitých obrázků a tabulek

Obrázek	Název	Strana
Obr. 1	Zásah blesku do vedení.....	14
Obr. 2	Definice parametrů bleskového výboje	15
Obr. 3	Schéma obvodu při vypínání transformátoru naprázdno	16
Obr. 4	Průběh proudu a napětí na kontaktech při vypínání transformátoru naprázdno a zániku proudu v přirozené nule.....	17
Obr. 5	Průběh proudu a napětí na kontaktech při useknutí proudu před přirozenou nulou.....	18
Obr. 6	Vypínání malých kapacitních proudů	20
Obr. 7	Vypínání malých kapacitních proudů-příznivý případ	21
Obr. 8	Vypínání malých kapacitních proudů-nepříznivý případ	21
Obr. 9	Přechodné přepětí s dlouhým čelem	22
Obr. 10	Přechodné přepětí s krátkým čelem.....	23
Obr. 11	Soustava s izolovaným uzlem	23
Obr. 12	Deformace omezovače vlivem přepětí vzniklého při zemním spojení.....	24
Obr. 13	Trvalé přepětí	24
Obr. 14	Dočasné přepětí	25
Obr. 15	Náhradní schéma svodiče přepětí.....	26
Obr. 16	Ventilová bleskojistka VA102, rok výroby 1980, Náhradní schéma bleskojistky.....	27
Obr. 17	VA-charakteristika bleskojistky	28
Obr. 18	Řez omezovačem přepětí s porcelánovým pouzdem.....	30
Obr. 19	Voltampérová charakteristika varistoru ZnO a rezistoru SiC	31
Obr. 20	Koncepce technické diagnostiky	35
Obr. 21	Ukázka vnitřních částí demontovaného svodiče přepětí.....	37
Obr. 22	Ukázka změny stavu pláště z kompozitních materiálů	37
Obr. 23	Ukázka místa, kudy pronikala vlhkost do pláště	38
Obr. 24	Termovizní snímek svodiče přepětí 110kV	39
Obr. 25	Měřicí přístroj LCM II k měření třetí harmonické odporové složky proudu	39
Obr. 26	Diagnostika svodiče přepětí přístrojem LCMII - měření třetí harmonické odporové složky proudu	40
Obr. 27	Příklad vnitřních a povrchových částečných výbojů	41
Obr. 28	Náhradní schéma a model vnitřních částečných výbojů v pevném dielektriku	41
Obr. 29	Časový průběh napětí $u(t)$ a fiktivního $u_{10}(t)$ na dutince bez přeskočů.....	42
Obr. 30	Diagnostika Částečných výbojů na rozvodně 110 kV	42
Obr. 31	Schéma zapojení při měření referenčního napětí	44
Obr. 32	Schéma zapojení při měření svodového proudu a zapalovacího napětí	45
Obr. 33	Diagnostika bleskojistky 110kV - měření střídavého zapalovacího napětí měřicím vozem.....	46
Obr. 34	Uživatelské prostředí programu ATP DRAW.....	48
Obr. 35	Obvod bez bleskojistky	49
Obr. 36	Obvod s bleskojistkou.....	49
Obr. 37	Vývojový graf měření střídavého zapalovacího napětí u bleskojistky VA100/10.2 ...	50
Obr. 38	Vývojový graf měření střídavého zapalovacího napětí u bleskojistky VA102/10.2 ...	51
Obr. 39	Vývojový graf měření třetí harmonické odporové složky svodového proudu	51
Obr. 40	Vývojový graf měření třetí harmonické odporové složky svodového proudu - sledování nárůstu svodového proudu ve zkrácené lhůtě	52

Obr. 41 Pohled do vnitřní části omezovače přepětí.....	53
Obr. 42 Koroze vnitřních dílů	53
Obr. 43 Detail prasklin pláště z kompozitních materiálů	54
Obr. 44 Poškozený omezovač přepětí	55

Tabulka	Název	Strana
Tab. 1	Přehled základních technických parametrů.....	32
Tab. 2	Technické parametry typu SBKC 96/10.3	33
Tab. 3	Korekce hodnot vzhledem k teplotě	40
Tab. 4	Příklad hodnot referenčního proudu výrobce TRIDELTA	43
Tab. 5	Příklad hodnot referenčního proudu výrobce EXLIM.....	43
Tab. 6	Příklad hodnot zkušebního zapalovacího napětí u bleskojistek typu TRIDELTA VA/10.2	47

Obsah

Úvod	10
1 Provozní podmínky	11
1.1 Vliv pracovního prostředí	11
1.2 Druh provozu přístroje	12
1.2.1 Napětí	12
1.2.2 Proud	12
1.2.3 Kmitočet	12
1.2.4 Výkon	12
1.2.5 Elektromagnetická kompatibilita	12
1.2.6 Odolnost proti napěťovým rázům	13
2 Druhy přepětí	14
2.1 Přepětí vznikající vlivem pracovního prostředí	14
2.1.1 Atmosférická přepětí	14
2.1.2 Indukovaná přepětí	15
2.2 Spínací přepětí	15
2.2.1 Vypínání malých induktivních proudů	16
2.2.2 Vypínání kapacitních proudů	20
2.3 Přejížděná přepětí	22
2.3.1 Přepětí vlivem zemního spojení	23
2.4 Trvalá přepětí	24
2.5 Dočasná přepětí	24
3 Svodiče přepětí	26
4 Typy svodičů přepětí	27
4.1 Bleskojistka	27
4.2 Ventilová bleskojistka	27
4.3 Omezovač přepětí	30
4.3.1 Technické parametry omezovačů přepětí	31
5 Technická diagnostika	34
5.1 Diagnostika	34
5.2 Diagnostické prostředky	34
5.3 Technický stav objektu	34
5.4 Metody a koncepce technické diagnostiky	35
6 Diagnostika svodičů a omezovačů přepětí VN a VVN	36
6.1 Diagnostika svodičů a omezovačů přepětí za provozu (on-line)	38
6.1.1 Měření teploty	38
6.1.2 Měření třetí harmonické odporové složky svodového proudu	39

6.1.3	Měření částečných výbojů	40
6.2	Diagnostika svodičů a omezovačů přepětí vyjmutých z provozu (offline).....	43
6.2.1	Měření referenčního napětí	43
6.2.2	Měření svodového proudu	45
6.2.3	Měření střídavého zapalovacího napětí	46
7	Simulace přechodného děje pomocí programu ATP	48
8	Analýza dosažených výsledků	50
	Závěr	56
	Seznam literatury	58

Úvod

Bezpečný a bezporuchový chod distribuční a přenosové soustavy ovlivňuje množství dějů, mezi které můžeme počítat vliv pracovního prostředí a vliv druhu provozu přístroje. Pracovní prostředí je soubor vlastností samotného prostředí, ve kterém se elektrická síť nachází. Jedná se o přesnou definici prostředí a jejich faktorů, které působí na elektrickou síť. Těmto faktorům, které dané prostředí definují, se říká vnější vlivy. Dle těchto vlivů se volí zařízení s ohledem nejen na správnou funkci, ale i s ohledem na zajištění bezpečnosti, provozuschopnosti a spolehlivosti.

Jedním z vlivů spadajícím do této kategorie je atmosférické přepětí. Často vzniká přímým úderem blesku do vedení nebo indukci při úderu blesku v blízkosti vedení. V České Republice zasáhne blesk přímo do vedení až třicetkrát za rok na sto kilometrů délky.

Vliv druhu provozu přístroje určuje velikost proudu, napětí, kmitočtu, výkonu, EMC a počet cyklů za hodinu. Příčinou vzniku přepětí vznikajících v elektrické síti vlivem provozu přístroje bývají většinou spínací operace - vypínání zátěží, převážně induktivního charakteru, nebo při zkratech a jiných poruchách v síti. Dle zákona 458/2000 Sb. je výrobce elektřiny povinen zajistit dodávku elektrické energie a dodržet parametry kvality dodané energie. Nedostatečná ochrana proti přepětí může způsobit namáhání izolačního systému, což může vyústit až do poruchového stavu, který má za následek výpadky v dodávce elektrické energie. Historický vývoj studie přepětí sahá do dvacátých let minulého století. V této době se začaly používat první zařízení sloužící k ochraně před přepětím i přesto, že o přepětí nebyl dostatek informací. Už v této době se začaly vyvíjet metody a přístroje, díky kterým bylo možné měření získat více informací o přepětí. Tyto metody a postupy prošly postupným vývojem a byly popsány teorie sloužící k výpočtům přepětí. Tyto nové poznatky daly vzniknout přístrojům sloužícím k ochraně před těmito nežádoucími vlivy.

K eliminaci škod, vznikajících vlivem přepětí, se do elektrické sítě instalují ochranné prvky-svodiče a omezovače přepětí.

V této práci se budu zabývat vznikem různých druhů přepětí, závislých jak na druhu provozu přístroje, tak na vlastnostech pracovního prostředí ve kterém se nachází. Dále popíšu přístroje sloužící k ochraně před přepětím. S využitím diagnostických metod sloužících k ověření správné funkce těchto přístrojů, vyhodnotím dosažené výsledky.

1 Provozní podmínky

Provozní podmínky, ve kterých mohou přístroje pracovat, se člení do dvou skupin dle:

- pracovního prostředí
- druhu provozu přístroje

Druh provozu je většinou jednou ze směrnic určující konstrukční provedení, zatímco pracovní prostředí nemá na konstrukční provedení přístroje vliv (může si vynucovat jen určité úpravy).

1.1 Vliv pracovního prostředí

Pracovní prostředí je soubor vlastností, v němž se přístroj nachází. Závisí na složení ovzduší a na ostatních podmínkách, které ovlivňují činnost elektrického zařízení. Dříve prostředí definovala norma ČSN 33 0300. Tato norma vycházela z definování působnosti okolí (jako celku) na elektrické zařízení. Byla nahrazena normou ČSN 33 2000-5-51, jež vychází z působení jednotlivých faktorů prostředí, které definujeme jako vnější vlivy. Tyto změny vycházely z požadavků na větší přesnost popisu prostředí, které budou na elektrické zařízení působit.

- Elektrická zařízení se musí vybírat a instalovat v souladu s požadavky podle normy ČSN 33 2000-5-51. Ta udává charakteristiky zařízení požadované pro jeho instalaci a výběr s ohledem na vnější vlivy, kterým může být zařízení vystaveno.
- Pakliže odporují vlastnosti zařízení dané jeho konstrukcí vnějším vlivům v určitém místě, může se zařízení použít. To však jen pod podmínkou, že se v průběhu montáže provede doplňující ochrana, která nemůže nepříznivě ovlivňovat provoz chráněného objektu.
- Před vnějšími vlivy musí být ochrana zajištěna dle toho, zda různé vnější vlivy působí zároveň a jeden účinek závisí na druhém (může se zvyšovat nebo i ovlivňovat), nebo jsou tyto vlivy na sobě nezávislé. Podle toho musí být před těmito vlivy zajištěna dostatečná ochrana.
- Podle vnějších vlivů je nutno volit zařízení nejen s ohledem na správnou funkci, ale také se zřetelem na zajištění provozuschopnosti a spolehlivosti v souladu s ochrannými opatřeními pro zajištění bezpečnosti.

[1][6]

1.2 Druh provozu přístroje

Druh provozu určuje především velikost proudu, napětí, kmitočtu, výkonu, EMC a počet cyklů za hodinu, které budou na přístroj působit. Podle hustoty spínání dělíme provoz na občasný a častý. Na základě hustoty provozu se dimenzuje elektrická i mechanická odolnost přístroje. Přístroje, které se používají sporadicky a spínají malé proudy jsou dimenzovány co nejméně. Naopak přístroje, které se užívají často nebo jsou trvale provozovány s vyšším proudovým zatížením, jsou dimenzovány tak, aby byly provozně spolehlivé a jejich životnost byla delší. Nejvyšší nároky jsou kladeny na přístroje, které jistí provoz drahých zařízení nebo na kterých závisí bezpečnost osob.

[1]

1.2.1 Napětí

Zařízení musí být určeno pro jmenovité napětí instalace (u střídavého napětí je dáno efektivní hodnotou). Pokud je v síti IT vyveden nulový vodič, je nutné, aby zařízení připojené mezi fázovým vodičem a nulovým vodičem bylo izolováno jako pro napětí sdružené. Pro stanovená zařízení je nezbytné uvažovat s nejnižším nebo s nejvyšším napětím, které se může v obvyklém provozu vyskytnout.

1.2.2 Proud

Za normálních provozních podmínek se zařízení volí dle jeho proudové zatížitelnosti (u střídavého proudu se udává efektivní hodnota). Během abnormálních podmínek musí zařízení odolat proudům po dobu, která je dána charakteristikami ochranných prvků.

1.2.3 Kmitočet

Pokud má kmitočet na zařízení vliv, musí zařízení odpovídat kmitočtu obvodu, na který je připojeno.

1.2.4 Výkon

Zařízení, které je vybráno dle svých výkonových parametrů, musí být vhodné pro obvyklé provozní podmínky. Zohledňuje se účinnost zařízení.

1.2.5 Elektromagnetická kompatibilita

Pakliže se během instalace neučiní jiná příhodná bezpečnostní opatření, musí být zařízení vybráno tak, aby během obvyklého provozu (včetně spínacích operací) nepůsobilo rušivě na ostatní zařízení.

1.2.6 Odolnost proti napět'ovým rázům

V závislosti na předřazenou přepět'ovou ochranu se musí elektrické zařízení zvolit tak, aby odolalo napět'ovým rázům.

[6]

2 Druhy přepětí

Vznikající vlivem pracovního prostředí

- Atmosférická přepětí.
- Indukovaná přepětí

Vznikající vlivem provozu přístroje

- Spínací přepětí.
- Trvalá přepětí.
- Dočasná přepětí.
- Přechodná přepětí.

2.1 Přepětí vznikající vlivem pracovního prostředí

2.1.1 Atmosférická přepětí

Atmosférické přepětí je krátkodobé pulzní přepětí, které trvá nanosekundy až milisekundy a dosahuje až desítek megavolt. Nejčastěji vzniká při úderu blesku do vedení nebo elektromagnetickou indukci při úderu blesku v blízkosti vedení.

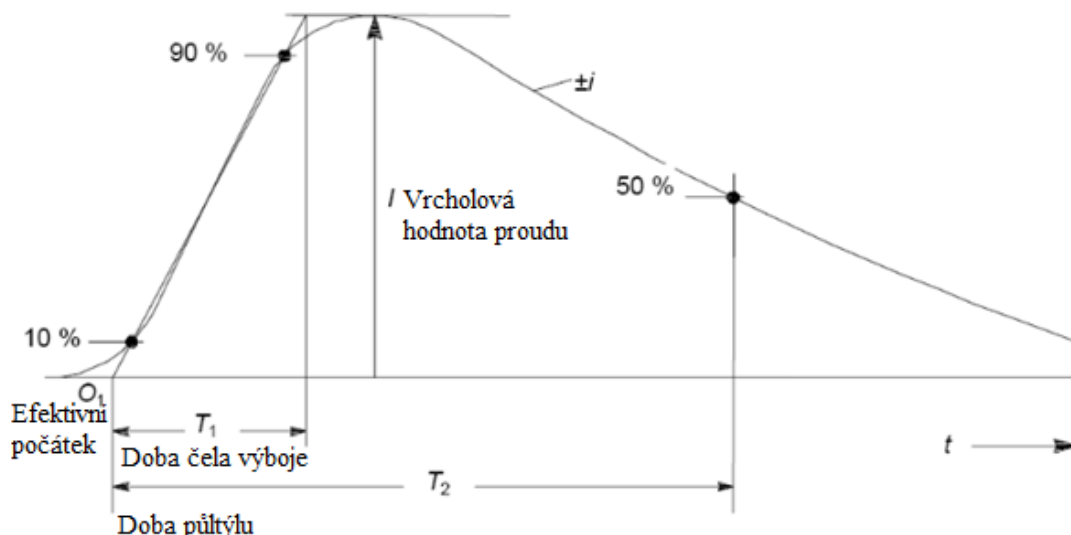


Obr. 1 Zásah blesku do vedení

Zdroj: <http://forum.bourky.com/viewtopic.php?f=27&t=696>

Blesk je výboj mezi zemí a elektricky nabitým mrakem (zemní blesk), mezi dvěma a více mraky, nebo mezi jednotlivými částmi jednoho mraku. Intenzita bouřek a tím i úderů blesků závisí na ročním období. V našich zeměpisných šířkách zasáhne blesk vedení za rok zhruba třicetkrát na 100 kilometrů délky (2-8 úderů na km²/rok). Přepětí je rozdílné u vedení s uzemněnými konzolami a u vedení na dřevěných sloupech. Po zasažení vedení s uzemněnými konzolami způsobuje úder blesku do zemnicího lana, do konstrukce nebo do fázového vodiče přeskoky mezi zemí a vedením a většinou i mezi fázovými vodiči. Přeskok na zem sníží velikost přepětí z řádů miliónu voltů na tisíce voltů, po vedení se začne šířit řada strmých impulsů vzniklých několikanásobnými přeskoky na izolaci vedení, a za ní se začne

šířit pomalejší vlna přepětí, která vznikla nárůstem potenciálu v místě úderu blesku na uzemnění. Vedení na sloupech bez uzemněných konzol i vedení na dřevěných sloupech mají proti zemi obrovskou izolační pevnost, která zapříčiňuje, že po úderu blesku do vodičů se po vedení může přenést přepětí tisíců kilovoltů na velkou vzdálenost, a tím zapříčinit obrovské škody.



Obr. 2 Definice parametrů bleskového výboje

Zdroj: ČSN EN 62305-1 (34 1390). Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy

[3][4][11]

2.1.2 Indukovaná přepětí

Přepětí při nepřímých úderech blesku neboli přepětí indukovaná, vznikají při úderu blesku do země nebo do konstrukce. Většinou mají ve všech vodičích stejnou velikost a mají také opačnou polaritu než bleskový proud. Indukovaná přepětí mají menší hodnoty než přepětí při přímém úderu blesku. Ve vedení se indukuje přepětí, která také mohou překročit izolační hladinu. Při úderu blesku v menší vzdálenosti od vedení, zhruba do 5 kilometrů, může v tomto vedení vzniknout nebezpečné napětí pro izolační systém vedení a připojených zařízení. Pokud je vzdálenost větší a indukované napětí dosáhne menších hodnot, může dojít k poruše.

[10]

2.2 Spínací přepětí

Jsou to četná přepětí vznikající činností v průmyslu - při vypínání větších zátěží, hlavně induktivního charakteru (elektromotory, transformátory apod.), nebo při zkratech v síti. Jsou důsledkem přechodných dějů.

[10]

2.2.1 Vypínání malých induktivních proudů

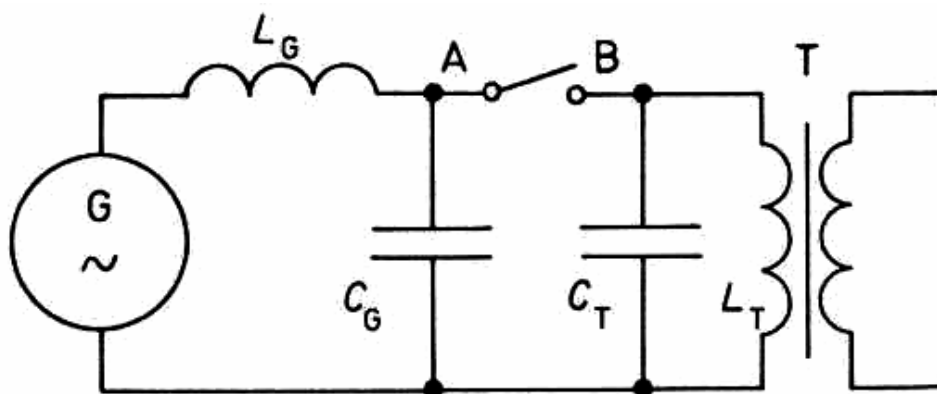
Vypínání obvodů indukční povahy je obtížnější než vypínání obvodů, v nichž se účinník blíží jedné, protože průběh zotaveného napětí při vypínání indukčního proudu, je strmější v obvodech s nízkým účinníkem. Při vypínání indukčních proudů v řádech jednotek nebo desítek ampérů vypínači s množstvím zhášecí energie nastávají zvláštní jevy. Stává se tak v obvodech vysokého napětí, například při vypínání motorů naprázdno, transformátorů naprázdno, kompenzačních tlumivek či reaktorů. Tyto případy nastávají v provozech velice často. Jsou li tyto proudy vypínány vypínači s účinným zhášedlem, nastává přerušení proudu před jeho přirozenou nulou a vznikají tak přepětí, která mohou dosáhnout několikanásobku jmenovitého napětí a tak ohrožovat izolaci sítě.

Uvedeme si příklad vypínání transformátoru naprázdno, kdy jeho primárním vinutím teče pouze magnetizační proud. Kapacita a indukčnost generátoru C_G a L_G je mnohem menší než kapacita a indukčnost transformátoru C_T a L_T . Jedná se o dvoukmitočtový obvod, kde vlastní frekvence generátorového obvodu:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_G C_G}} \quad (2.2.1.1)$$

je větší než vlastní frekvence transformátorového obvodu.

[1]



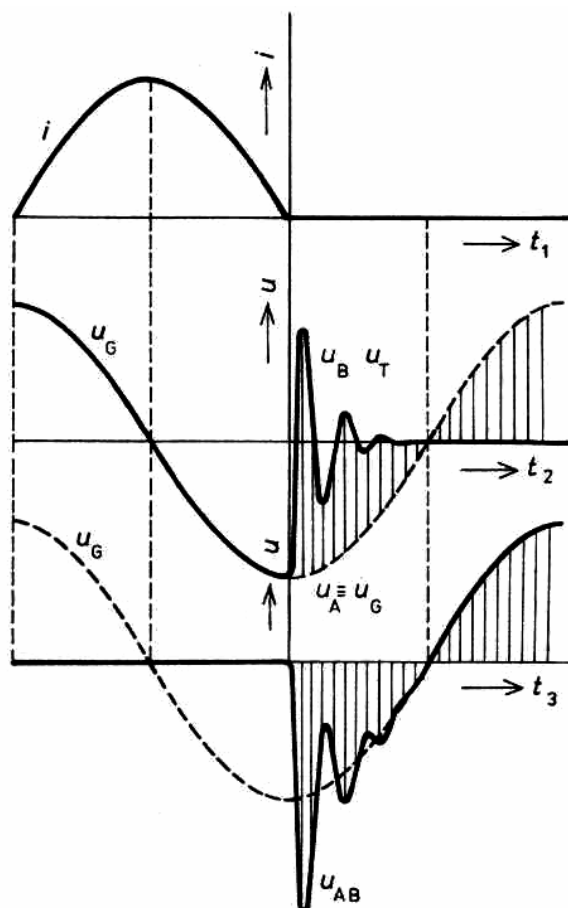
Obr. 3 Schéma obvodu při vypínání transformátoru naprázdno

Zdroj: Havelka, O. a kol.: Elektrické přístroje

V první části obrázku uhasíná oblouk v okamžiku, kdy se proud rovná nule. Pokud byly kontakty vypínače A, B spojeny obloukem, byl úbytek napětí na indukčnosti L_G malý a napětí na transformátoru bylo téměř shodné s napětím generátoru. Po uhasnutí oblouku dochází k rozpojení obvodů a průběhy napětí na kontaktech jsou již rozlišné. Napětí generátorů je větší než bylo napětí na vypínači díky úbytku napětí na indukčnosti L_G v čase před uhašením oblouku. Na novou ustálenou hodnotu proběhne přechod kmitavým dějem o kmitočtu:

$$f_G = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_G C_G}} \quad (2.2.1.2)$$

[1]



Obr. 4 Průběh proudu a napětí na kontaktech při vypínání transformátoru naprázdno a zániku proudu v přirozené nule

Havelka, O. a kol.: Elektrické přístroje

Zanedbáme amplitudu přechodných kmitů, protože je malá a uvažujeme, že napětí na kontaktu A je rovno napětí generátoru u_G -viz. osa dvě obr 4.

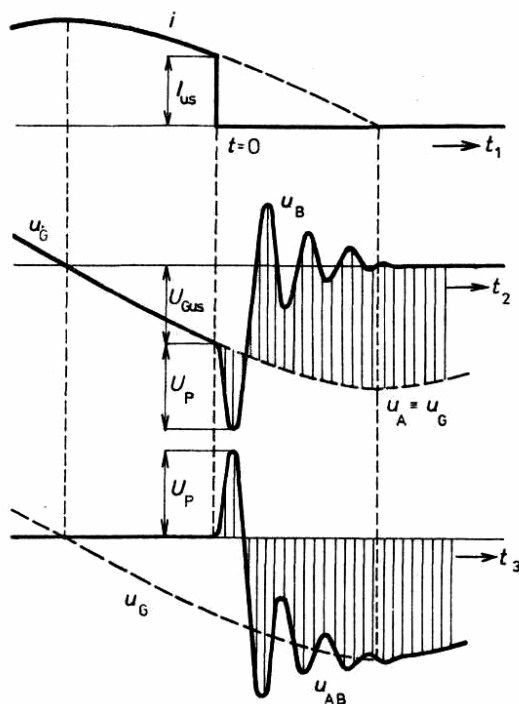
V momentě, kdy oblouk uhasne, je proud roven nule a proto i v indukčnosti transformátoru L_T se energie rovná nule. Kapacita transformátoru C_T je nyní nabita na plné napětí generátoru a vybíjí se přes indukčnost L_T a obvod kmitá kmitočtem:

$$f_T = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_T}} \quad (2.2.1.3)$$

a průběh napětí na kontaktu B je dán tímto kmitočtem. Z důvodu, že odpor obvodu není nulový i když jsme jej zanedbali, jsou kmity tlumené. Zotavené napětí je určeno rozdílem

napětí na kontaktech vypínače A a B a je znázorněno na obr. 4 na třetí ose. Rozdíly jsou vyšrafovány.

Další případ vypínání induktivních proudů nastane, dojde li k jeho přerušení skokem mimo jeho nulu, viz obr. 5



Obr. 5 Průběh proudu a napětí na kontaktech při useknutí proudu před přirozenou nulou
Zdroj: Havelka, O. a kol.: Elektrické přístroje

Velikost proudu v momentě přerušení označíme I_{US} . Energie L_T už není rovna nule, ale její velikost je:

$$W_{LT} = \frac{1}{2} \cdot L_T \cdot I_{US}^2 \quad (2.2.1.4)$$

Kapacita C_T se začne nabíjet a napětí na kapacitě se zvyšuje o hodnotu vycházející rovností magnetické a elektrické energie:

$$\frac{1}{2} \cdot L_T \cdot I_{US}^2 = \frac{1}{2} \cdot C_T \cdot U_P^2 \quad (2.2.1.5)$$

a následně:

$$U_P = I_{US} \cdot \sqrt{\frac{L_T}{C_T}} \quad (2.2.1.6)$$

Jelikož byla kapacita C_T v momentě přerušení proudu nabitá na napětí zdroje U_{GUS} , vzrůstá tak napětí na kontaktu B vypínače na vrcholovou hodnotu:

$$U_{BM} = U_{GUS} + U_P \quad (2.2.1.7)$$

Konečný průběh zotaveného napětí mezi kontakty A a B (rozdíl jejich potenciálů) je na třetí pozici obr. 5.

Energie v indukčnosti L_T bude nejvyšší, nastane-li useknutí proudu v jeho maximální výši. Následně platí:

$$I_{US} = \frac{U_M}{\omega L_T} \quad (2.2.1.8)$$

a vrchol napětí dosáhne v tomto případě nejvyšší hodnotu:

$$U_{PM} = \frac{U_M}{L_T} \cdot \sqrt{\frac{L_T}{C_T}} \quad (2.2.1.9)$$

Napíšeme-li, že:

$$\omega_T = \frac{1}{\sqrt{L_T C_T}} \quad (2.2.1.10)$$

, tak pozorujeme, že tento vrchol přesáhne amplitudu napětí zdroje v poměru kmitočtů:

$$U_P = \frac{U_M \cdot \omega_T}{\omega} = \frac{U_M \cdot f_T}{f} \quad (2.2.1.11)$$

Vzhledem k tomu, že vlastní kmitočet vysokonapěťových transformátorů pracujících naprázdno bývá mezi 300-600 Hz, mohla by počáteční napěťová špička mezi kontakty vypínače dosáhnout násobku 6 až 12. U_M , což je přepětí, které by mohlo poškodit izolační systém samotného transformátoru, motoru nebo vedení. Zda-li toto přepětí opravdu vznikne záleží na vypínači. Respektive jakou rychlostí vzrůstá průrazná pevnost mezi póly. Vypínač s pomalým vzrůstem elektrické pevnosti chrání zařízení proti přepětí tak, že v něm vznikající malé průrazy zničí magnetickou energii. Samotné průrazy nejsou vypínači škodlivé, jelikož se jedná o proudy v řádech ampérů, při nichž nedochází k citelnému opalování kontaktů. Jedná se o vypínače s vlastní zhášecí energií, které pracují v tomto případě příznivě.

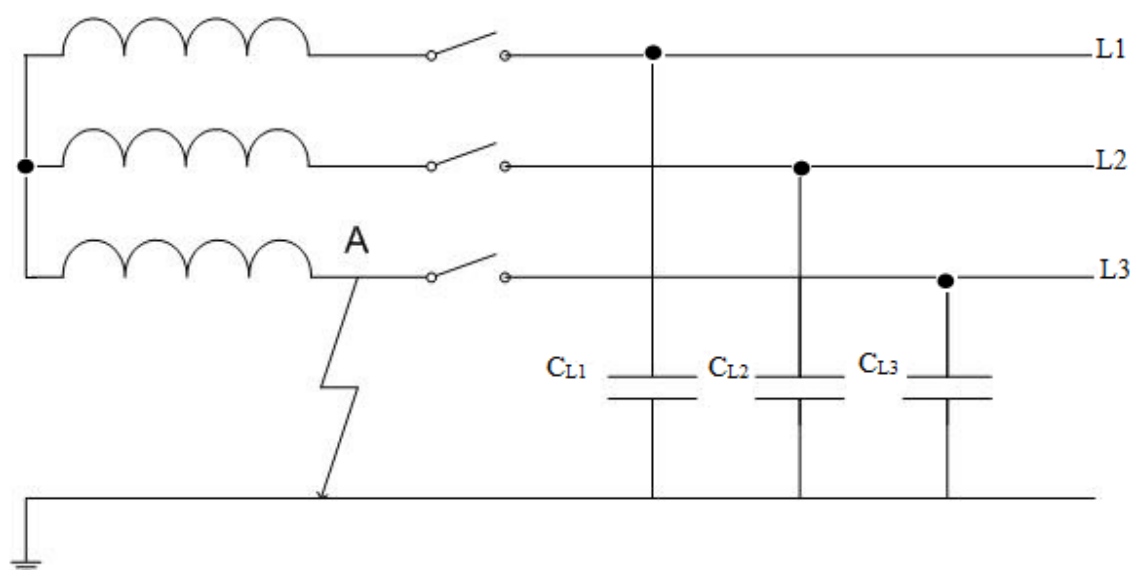
[1][5]

2.2.2 Vypínání kapacitních proudů

Dalším z případů vzniku přepětí v síti je vypínání

- kondenzátorových baterií (kompenzace účinníku)
- dlouhých vedení při chodu naprázdno
- kabelových sítí

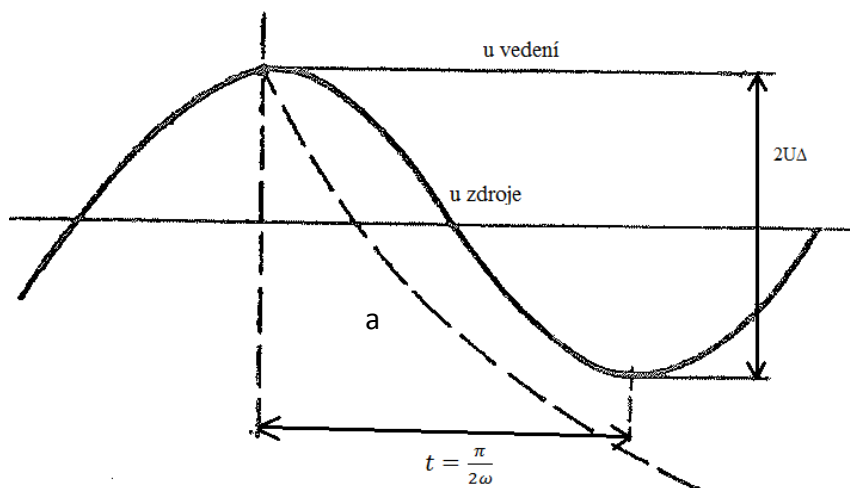
Nejhorší případ nastane při vypínání v sítích s neuzemněným uzlem v momentě zemního spojení.



Obr. 6 Vypínání malých kapacitních proudů

Zdroj: Zajíc, V.: Vypínače na vysoké napětí

Vznikne-li v bodu A zemní spojení, kapacita C_{L3} se vybije do země přes pól vypínače a zdroj. V tomto případě transformátor, dodává do dvou fází. Pokud v tomto stavu vypínač vypne, pól L_3 vypne naprázdno, avšak ve zbývajících pólech nastávají jiné poměry. Proud i_{L1} se přeruší v první vhodné nulové hodnotě pro uhašení oblouku. Fáze L_1 zůstane nabitá na maximální hodnotu U_{\max} , díky fázovému předstihu 90° oproti napětí zdroje v době uhasnutí oblouku. Druhý kontakt zůstává spojen s generátorem a sleduje jeho sinusové napětí. Napětí mezi kontakty L_1 a obdobně L_2 je dáno rozdílem konstantního napětí vedení a zdroje.

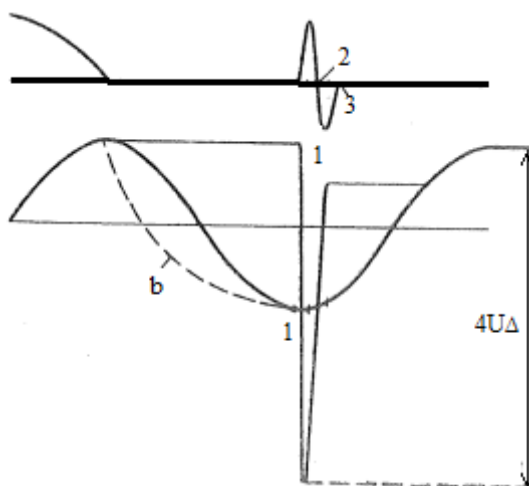


Obr. 7 Vypínání malých kapacitních proudů-příznivý případ

Zdroj: Zajíc, V.: Vypínače na vysoké napětí

Uhašení oblouku nastane při malé vzdálenosti kontaktů. Vyrůstá-li elektrická pevnost mezi kontakty vypínače podle křivky 'a' na obr. 7, dojde k definitivnímu přerušení proudu a na kontaktech se za polovinu periody od přerušení proudu objeví napětí $2U_{\max}$.

Dojde-li však k nárůstu průrazné pevnosti podle obr. 8, tudíž pomaleji než na obr. 7, nastane nepříznivý jev.



Obr. 8 Vypínání malých kapacitních proudů-nepříznivý případ

Zdroj: Zajíc, V.: Vypínače na vysoké napětí

Napětí na kontaktech dosáhne průrazné pevnosti v bodě 1, dojde k průrazu a kapacita vedení C_{L1} se vybije přes vinutí transformátoru kmitavým jevem s kmitočtem, který je dán kapacitou C_{L1} a indukčností transformátoru. Napětí dosáhne vrcholu $3U_{L1}$, dojde-li k průrazu v bodě maxima generátoru. Pokud oblouk uhasne při průchodu proudu nulou v bodě 3 obr. 8, na vedení zůstane nízké napětí a děj končí příznivě. Mnohem horší okolnosti mohou nastat,

pokud vybitý proud proběhne jen jednu půlvlnu, proud uhasne v bodě 2 obr. 8 a vedení zůstane nabito na $3U\Delta$. O půlvlnu později dosáhne napětí hodnoty $4U\Delta$.

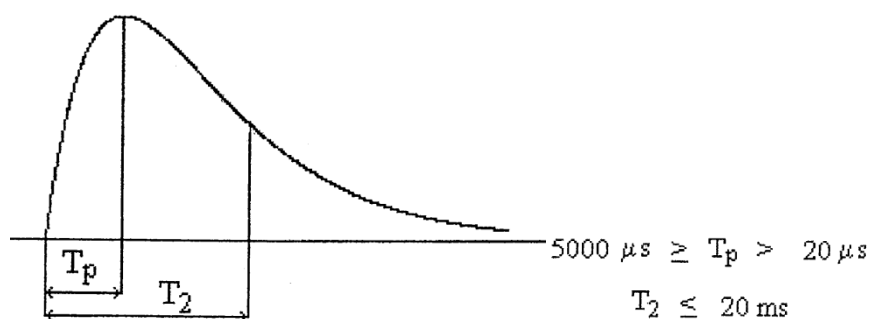
Pokud se tedy vypínací prostor mezi kontakty regeneruje rychle, nedochází k průrazům, napětí v nejnepříznivějším případě zůstane omezeno na dvojnásobek sdruženého napětí a náboj vedení se vybije například přes měřicí transformátory proudu. Toto je případ u vypínačů s vnější zhášecí energií. Pokud se prostor mezi kontakty regeneruje pomalu, může být vypínač zdrojem nebezpečných přepětí. Požadavky na regenerační průběh jsou zde opačné než při vypínání malých induktivních proudů. Proto je velmi obtížné navrhnout správný systém zhášení a vyhovět oběma protichůdným požadavkům.

[5]

2.3 Přechodná přepětí

Jsou to přepětí vznikající při vypínání, zapínání či přerušování zemního spojení v soustavách s izolovaným uzlem. Trvá milisekundy a méně, má tlumený impulzní nebo oscilační průběh. Přechodné přepětí dále rozdělujeme na:

- Přepětí pomalé s dlouhým čelem - často impulzní s dobou do vrcholu $20\ \mu s$ až $5000\ \mu s$ a dobou půltýlu menší než $300\ \mu s$.

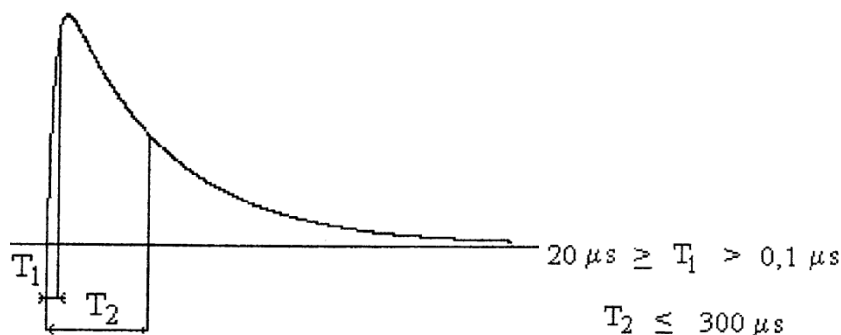


Obr. 9 Přechodné přepětí s dlouhým čelem

Zdroj: Hassman, T.: Přepětí v elektroenergetických soustavách

- Přepětí rychlé s krátkým čelem - nejčastěji impulzní s dobou do vrcholu $0,1\ \mu s$ až $20\ \mu s$ a dobou půltýlu menší než $300\ \mu s$.

[10]

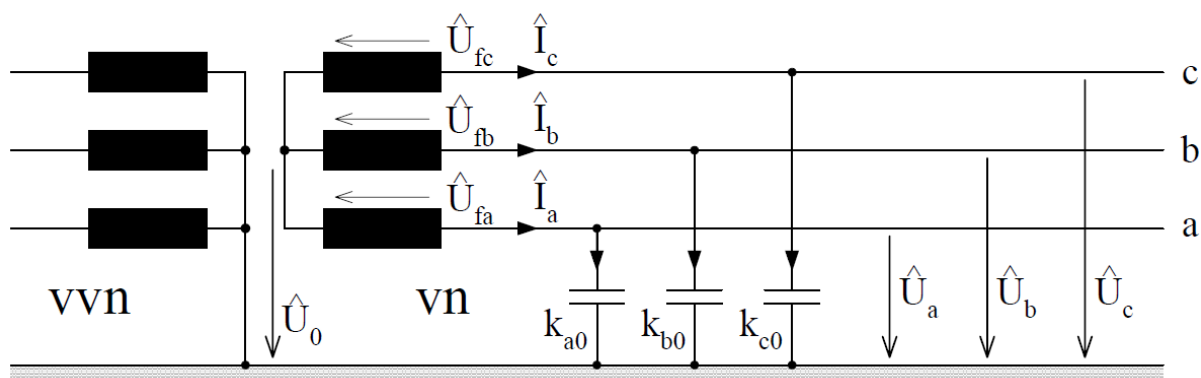


Obr. 10 Přebíh přechodného přepětí s krátkým čelem

Zdroj: Hassman, T.: Přepětí v elektroenergetických soustavách

2.3.1 Přepětí vlivem zemního spojení

V sítích vysokého napětí není obvykle uzel uzemněn. Tyto sítě většinou protínají velká území (města, vesnice, průmyslové podniky) a jsou ve velké míře vystaveny jak vlivům prostředí, tak vlivům vznikajícím lidskou činností (průmyslová činnost, stavebnictví, cizí zásahy).



Obr. 11 Soustava s izolovaným uzlem

Zdroj: <http://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>

Díky těmto vlivům vznikají v síti přepětí, které ve značné míře ovlivňují její bezproblémový chod. Kvůli těmto přepětím vznikají poruchy na izolačních systémech jednotlivých fází proti zemi. Tuto poruchu nazýváme zemní spojení a v tomto místě zemního spojení protéká poruchový proud, který má kapacitní charakter. U sítí, kde je poruchový proud větší než 5A, může vzniknout oblouk, který se rozloží do dálky, je pohyblivý a zpravidla vždy postihne vedlejší fáze. Díky tomu vznikají zkrat. Hořícím obloukovým zemním spojením jsou přepalovány vodiče, ničí se izolátory atd. Na nepoškozených fázích se díky nestabilnímu hoření oblouku, kdy dochází k jeho uhasnutí a opětovnému zapalování, především při přerušovaném zemním spojení, může objevit přepětí velikosti 4 až 4,5 násobku efektivního napětí U_f .

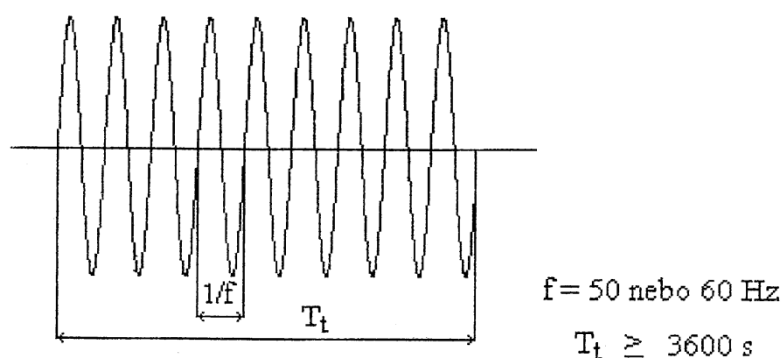
[20]



Obr. 12 Deformace omezovače vlivem přepětí vzniklého při zemním spojení

2.4 Trvalá přepětí

Jedná se o střídavé přepětí se síťovou frekvencí s konstantní efektivní hodnotou. Toto přepětí může vzniknout kupříkladu nesprávným nastavením odbočky na transformátoru.



Obr. 13 Trvalé přepětí

Zdroj: Hassman, T.: Přepětí v elektroenergetických soustavách

[10]

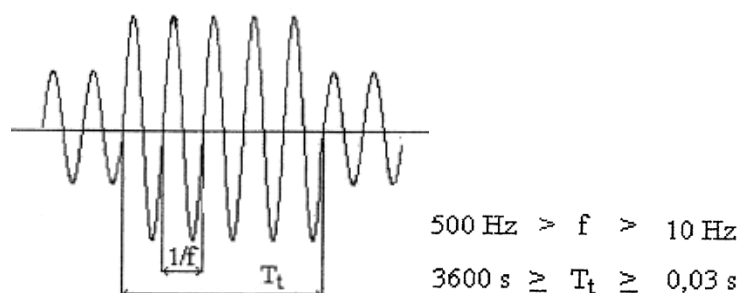
2.5 Dočasná přepětí

Dočasné přepětí je přepětí trvající desítky sekund až několik hodin; je to dočasné zvýšení napětí v síti. Můžeme jej rozdělit do tří skupin:

- Přepětí s provozním nebo téměř provozním kmitočtem - po ztrátě zatížení, při nesouměrných poruchách atd.
- Přepětí s kmitočtem vyšším než 50 Hz - ultraharmonická rezonance vznikající například při zapínání transformátoru s nezatíženým vedením.

- Přepětí s kmitočtem nižším než 50 Hz - subharmonická rezonance ve vedeních se sériovou kompenzací.

[4][10]



Obr. 14 Dočasné přepětí

Zdroj: Hassman, T.: Přepětí v elektroenergetických soustavách

Dříve se před masivním nástupem elektroniky používala zařízení s izolací, která byla schopna odolat obvyklým přepětím. S příchodem elektroniky a polovodičové techniky, jejíž výdržná schopnost odolat přepětím v síti není vysoká, nastala potřeba toto zařízení chránit, abychom zabránili škodám, které může přepětí způsobit.

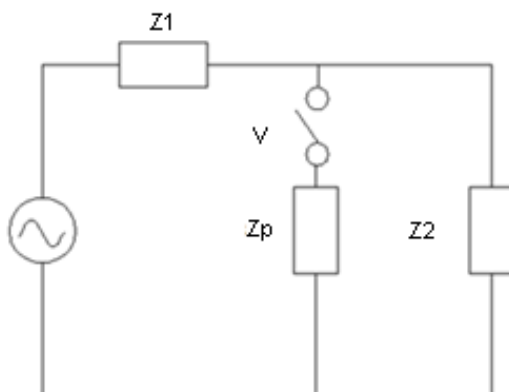
Jakékoliv přepětí v síti je nežádoucí jev, který při překročení izolační hladiny způsobuje vysoké hospodářské škody. Proto se snažíme přepětí omezit na nejnižší úroveň jak do velikosti, tak do doby jeho trvání. K tomuto omezení slouží přístroje, které nazýváme svodiče přepětí.

3 Svodiče přepětí

„Svodič přepětí je přístroj určený k ochraně elektrických zařízení před vysokým přechodovým napětím a často amplitudy následného proudu; termín „svodič přepětí“ zahrnuje jakékoliv vnější sériové jiskřiště, které je důležité pro správnou funkci přístroje v provozu, nehledě na to, zda je nebo není dodávané jako nedílná část tohoto přístroje.“

[7]

Svodiče přepětí se zapojují paralelně k chráněným objektům a zajišťují těmto objektům ochranu před vznikem napětí vyšším než dovoleným. Na trhu existuje několik druhů svodičů přepětí s odlišnou konstrukcí a odlišnými vlastnostmi. Jejich společným znakem je změna impedance s rostoucím napětím. V normálním stavu je impedance svodiče přepětí vysoká. Při vzniku přepětí se jeho impedance rychle sníží na velikost, kdy v podstatě způsobí zkrat. Náboj se prostřednictvím proudu svede svodičem do země. Následně se impedance svodiče obnoví na původní velikost, a obnoví se i jeho izolační pevnost.



Z1-impedance zdroje, Z2-impedance chráněného zařízení, Zp-impedance svodiče přepětí

Obr. 15 Náhradní schéma svodiče přepětí

Zdroj: Hassman, T.: -Přepětí v elektroenergetických soustavách

Aby bylo zaručeno co největší svedení přepětí (náboje) do země, je důležité při návrhu ochrany před přepětím tyto ochrany odstupňovat (koordinovat). Tato koordinace vychází z rozdělení chráněných objektů na zóny ochrany před bleskem z normy ČSN EN 61643-11.

4 Typy svodičů přepětí

4.1 Bleskojistka

Tyto přístroje obsahují kromě jiskřiště závislý odpor nebo prostředek k uhašení oblouku. Jejich účelem je omezení následného proudu na hodnotu, kterou už dokáže přerušit jiskřiště v kratší době, než je jedna půlvlna napětí. Pokud by odpor měl stálou hodnotu nastavenou na nejvhodnější omezení amplitudy proudu s kmitočtem 50 Hz, potom by spád napětí vznikající na jeho svorkách průchodem rázového proudu byl tak obrovský, že by se bleskojistka stala sama zdrojem přepětí. A právě proto se používá takových odporů, jejichž hodnota se stoupajícím proudem klesá.

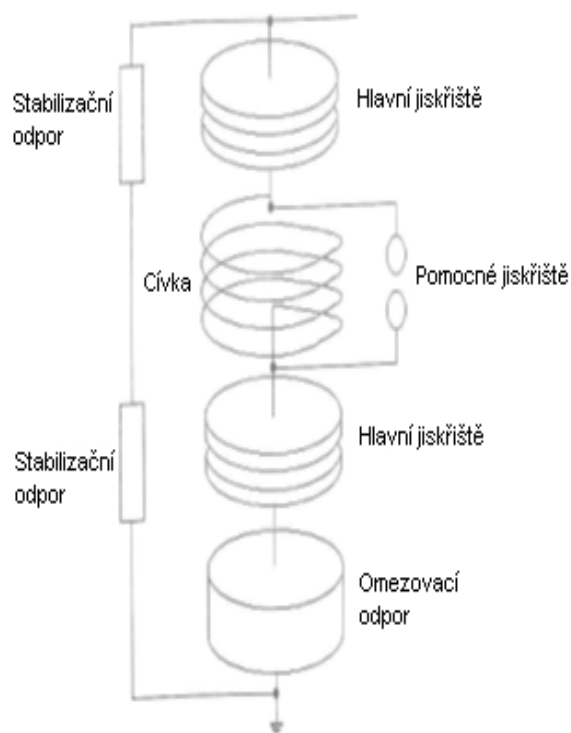
Jejich statická charakteristika se dá vyjádřit vztahem:

$$U = k \cdot I\alpha \quad (4.1.1)$$

kde k je konstanta závislá na jaké napěťové hladině se svodiče přepětí používají a α nabývá hodnot 2-6 pro SiC a 20-50 pro ZnO.

[4][10]

4.2 Ventilová bleskojistka

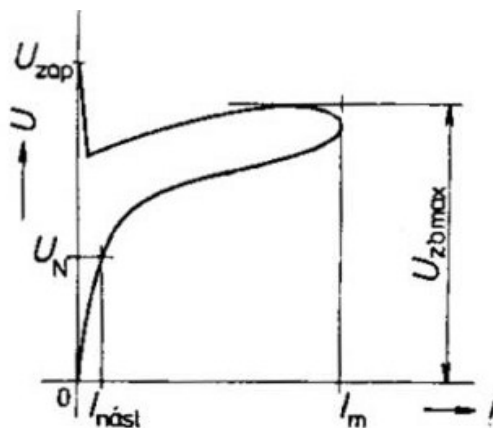


Obr. 16 Ventilová bleskojistka VA102/10.2, rok výroby 1980, Náhradní schéma bleskojistky
Zdroj: Vlastní dokumentace; Hassman, T.: Přepětí v elektroenergetických soustavách

Ventilová bleskojistka se skládá z jiskřiště a napětově závislých odporů. Vše je hermeticky uzavřeno v porcelánovém tělese. Napětově závislé odpory se vyráběly z karbidu křemíku SiC. Jiskřiště je zde kvůli galvanickému oddělení částí pod napětím, aby za normálních okolností neprocházel odporovými díly žádný proud. Zapalovací napětí stanovuje zapalovací vlastnosti bleskojistky. Jiskřiště zháší následný proud procházející bleskojistkou v momentě, kdy rázová vlna přestává procházet odpory.

Na obrázku výše je znázorněna ventilová bleskojistka, která se skládá ze dvou hlavních jiskřišť a z magnetické cívky s paralelně zapojeným pomocným jiskřištěm. Do série s jiskřištěm je zapojen napětově závislý omezovací odpor a paralelně k jiskřištím jsou stabilizační - napětově závislé odpory. Při vzniku přepětí dojde k zapálení hlavních jiskřišť a k průchodu proudu přes cívku a omezovací odpor. Nárůstem proudu dojde ke vzniku napětí na cívce a následně k zapálení pomocného jiskřiště. Cívka je v tento moment vyřazena z obvodu. Impedance bleskojistky je v tuto chvíli dána úbytkem na odporu. Po svedení přepětí se zmenší impedance cívky, čímž dojde na pomocném jiskřišti k uhašení oblouku a cívka je opětovně zařazena do obvodu. Magnetické pole, které vytváří cívka, vytlačuje obloukové výboje z hlavních jiskřišť do zhášecích komor a dochází tak k přerušení výbojů a k zamezení následného proudu. Napětově závislé odpory omezují vliv vnějších polí na jiskřiště, zajišťují rovnoměrnější rozložení napětí na jiskřištích a stabilizují zapalovací napětí bleskojistky. Jiskřiště bývají vybaveny ionizačními tyčinkami zvyšující koncentraci nosičů náboje v prostorech jiskřišť a zkracují dobu výstavby výboje. Zapalovací napětí závisí na strmosti přepětí a na vlastnostech jiskřiště.

[10]



U_{zap} -zapalovací napětí, U_N -jmenovité napětí, $I_{nást}$ -následný proud, I_m -maximální (zkratový) proud, U_{zbmax} -maximální zbytkové napětí (přepětí)

Obr. 17 VA-charakteristika bleskojistky

Zdroj: Elektrické přístroje v EE: Ing. Jan Sedláček, Ph.D.

Na charakteru přepětí jsou závislé vlastnosti bleskojistik. Ochranné vlastnosti ventilových bleskojistik jsou vyvozovány od zkoušek impulzních napětí a proudů.

- rázová charakteristika - impulz napěťový 1,2/50 μ s
- závislost reziduálního napětí na intenzitě výbojového proudu - impulz proudový 8/20 μ s
- rázová charakteristika stanovená prostřednictvím spínacích impulzů - impulz napěťový 30/60 μ s (u bleskojistik nad 100 kV)

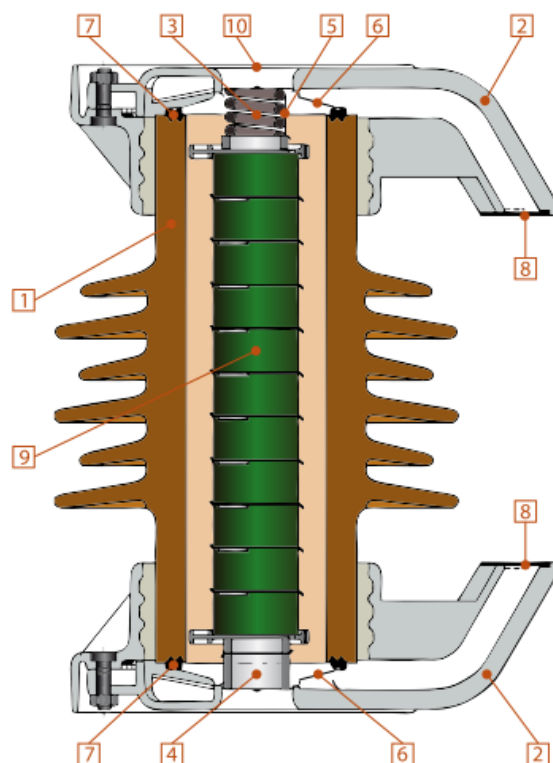
Pomocí výše uvedených testů se stanovují výchozí parametry bleskojistik.

Z průběhu rázové charakteristiky při atmosférickém impulzu 1,2/50 μ s vyplývá jmenovité zapalovací napětí - nejmenší vrcholová hodnota napěťového impulzu, který vždy způsobí zapůsobení bleskojistky. Při zkoušce, kdy po zapůsobení prochází bleskojistkou proud s tvarem impulzu 8/20 μ s, se zjišťuje zbytkové napětí bleskojistky (úbytek napětí vyvolaný průchodem proudu). Z předchozích zkoušek se stanovuje nominální výbojový proud (vrcholová hodnota impulzu proudu s tvarem 8/20 μ s). Velikost výbojových proudů se většinou vybírá z řady 1,5;2,5;5;10;20;40 kA. Dále výrobce udává zapalovací napětí bleskojistky, což je velikost efektivního střídavého napětí, u kterého dochází k zapálení bleskojistky a jmenovité napětí, což je efektivní velikost napětí se síťovým kmitočtem, na které je bleskojistka navrhována.

[10]

4.3 Omezovač přepětí

Technologický vývoj výroby závislých odporů na bázi kysličníku zinečnatého ZnO dovolil zvýšit α ve vztahu 4.1.1 na hodnotu 20 až 50 a to zhruba při napětí o 10% nižším, než je jmenovité zbytkové napětí při proudu 10 kA. Tímto odporem protéká asi o tři řády nižší proud, než u odporu na bázi karbidu křemíku SiC. Tato vlastnost dovolila přímé použití odporů na bázi kysličníku zinečnatého ZnO bez zapalovacích jiskřišť.



1-porcelánový izolátor, 2-výfuk, 3-pružina, 4-pohlcovač vlhkosti, 5-měděný plech, 6-těsnící kryt, 7-těsnící kroužek, 8-signální destičky, 9-bloky ZnO, 10-kryt příruby

Obr. 18 Řez omezovačem přepětí s porcelánovým pouzdrém

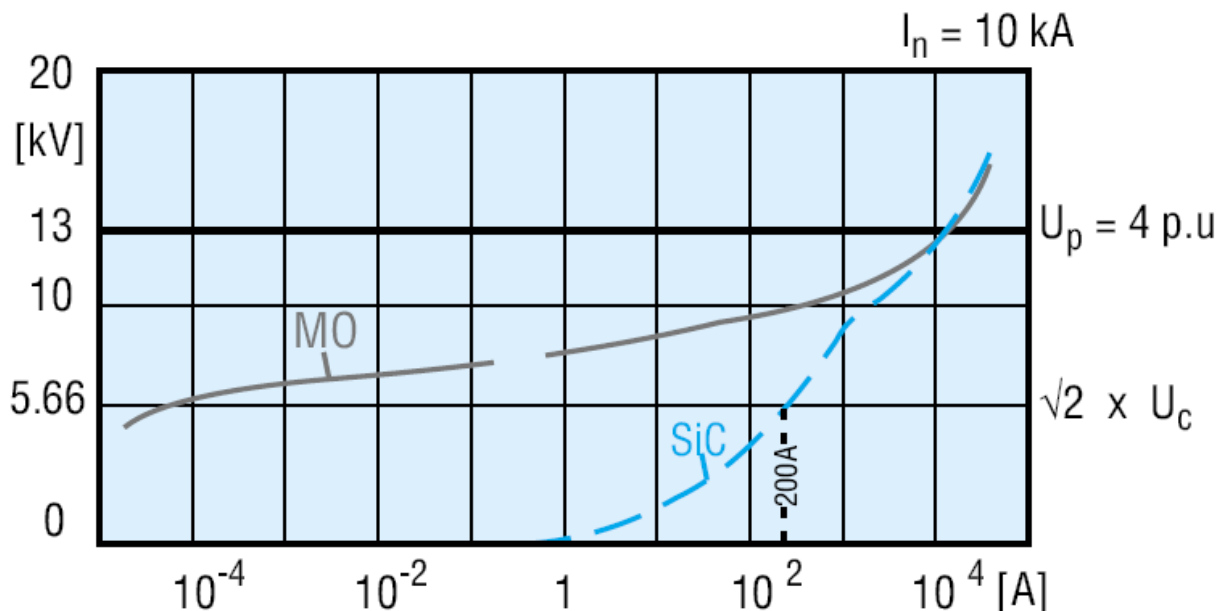
Zdroj: Katalogový list ABB-omezovač přepětí ZnO 10 kA, 3. en. Třída

Při návrhu svodiče je nutné brát v úvahu závislost odporu na teplotě. Při dlouhodobém zvýšení napětí na omezovači klesá jeho odpor, zároveň však dochází k nárůstu proudu a tím pádem i k vývinu tepla. Pokud by nedocházelo k dostatečnému chlazení, došlo by k dalšímu poklesu odporu a k dalšímu zvýšení ztrát. Tepelná nestabilita by mohla vést k havárii omezovače.

Při trvalém provozním napětí (U_c) protéká omezovačem přepětí jenom malý kapacitní proud (v rámci mA). Se změnami napětí se varistory k těmto změnám přizpůsobují s malým zpožděním. Energie přepětíové vlny je v omezovači přepětí transformována na teplo. Nárůst napětí je limitován do hodnot zbytkových napětí omezovače. Po skončení přepětíové vlny se varistory vrací do původního stavu.

Metaloxidové varistory jsou vyrobeny ze syntetické keramiky, která je z 98% ZnO. Ostatní složky jsou: cca 1% Bi₂O₃ a Sb₂O₃, cca 0,1% až 1% NiO a Cr₂O₃, 0,1% skelný potah, ve kterém je obsažen oxid olovnatý.

[10]



Obr. 19 Voltampérová charakteristika varistoru ZnO a rezistoru SiC

Zdroj: Bakalářská práce-Návrh svodičů přepětí v průmyslovém rozvodu: Michal Korejčík

4.3.1 Technické parametry omezovačů přepětí

Vzhledem k velkému množství svodičů přepětí uvedu pouze omezovač přepětí firmy TRIDELTA

„Dle katalogu výrobce Tridelta_96kV102kV108kV-ZnO-10-kA-3.tr, strana 2“

„Výrobce: TRIDELTA

Název, typ omezovače: Metaloxidový omezovač přepětí, typ SBKC 96/10.3 M, SBKC 96/10.3, SBKC 102/10.3 M, SBKC 102/10.3, SBKC 108/10.3 M

Technický popis:

Omezovač přepětí ZnO, 3. en. třída, jmenovité napětí 96kV, 102kV nebo 108kV, jmenovitý výbojový proud 10kA, pro venkovní síť 110kV, s polymerovým izolačním pláštěm a příslušenstvím.

Použití: Omezovač je určen pro vnitřní i venkovní použití, s příslušenstvím k připojení vvn přívodu a s příslušenstvím k odizolování zemního přívodu (pro případné provádění diagnostiky). Omezovače se používají pro ochranu transformátorů, spínacích přístrojů a zařízení proti atmosférickým a spínacím přepětím.

Soulad s příslušnými předpisy:

- ČSN EN 60099-4 ed.2 – Svodiče přepětí – Část 4: Omezovače přepětí bez jiskřišť pro síť střídavého napětí, včetně změny A1

- ČSN EN 60099-5 – Svodiče přepětí – Část 5: Doporučení pro volbu a použití, včetně změny A1
- PNE 33 0000-2 – Stanovení základních charakteristik vnějších vlivů působících na rozvodná zařízení distribuční a přenosové soustavy
- PNE 330000-9 – Navrhování a umísťování svodičů přepětí v sítích 110 kV

Doba technické životnosti: 25 let“

[17]

Tab. 1 Přehled základních technických parametrů

	SBKC 96/10.3	SBKC 96/10.3 M	SBKC 102/10.3	SBKC 102/10.3 M	SBKC 108/10.3 M
Trvalé provozní napětí (U_C)	77 kV	77 kV	75 kV	82 kV	86 kV
Jmenovité napětí (U_r)	96 kV	96 kV	102 kV	102 kV	108 kV
Jmenovitý výbojový proud (I_n)	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA
Impuls vysokého proudu (4/10 μ s)	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA
Energetická třída	3	3	3	3	3
Zbytkové napětí U_{res} při jmenovitém výbojovém proudu $I_n = 10\text{kA}$ 8/20 μ s .	230 kV	230 kV	245 kV	245 kV	259 kV
Odolnost proti dlouhému impulsu proudu 30/60 μ s Zbytkové napětí – max. hodnota	1 kA: 196 kV	1 kA: 196 kV	1 kA: 208 kV	1 kA: 208 kV	1 kA: 220 kV
Dočasné přepětí UTOV dle ČSN EN 60099-4 příloha D pro čas 1s 10s	110 kV/1s 104kV/10s	110 kV/1s 104kV/10s	117 kV/1s 110kV/10s	117 kV/1s 110kV/10 s	124 kV/1s 117kV/10 s
Povrchová dráha (mm)	3200	3873	3200	3873	3873
Výška bez příslušenství (mm)	1001	1169	1001	1169	1169
Pevnost v ohybu dle definice 3.66. ČSN EN 60099-4 (MPSL) v Nm	3500	3500	3500	3500	3500
Pevnost v krutu v Nm	500	500	500	500	500
Pevnost v tahu v kN	10	10	10	10	10
Hmotnost (kg)	26	28	26	28	28

Zdroj: Katalog výrobce, Tridelta_96kV102kV108kV-ZnO-10-kA-3.tr.

Parametry, kterými popisujeme omezovače přepětí, jsou odlišné od parametrů popisujících bleskojistky. Dají se rozdělit na parametry popisující vlastnosti omezování přepětí a odolnost proti přetížení.

Podle následujících zkoušek se stanovují ochranné vlastnosti omezovačů přepětí:

- od hodnoty reziduálního napětí impulzem proudu 1/20 μ s
- od hodnoty reziduálního napětí impulzem proudu 8/20 μ s
- od hodnoty reziduálního napětí spínacím impulzem proudu od 30/60 μ s do 100/200 μ s (doba půltýlu je dvojnásobek doby čela)

Zde je patrný rozdíl oproti bleskojistce. U omezovače, kde není jiskřiště, dochází k zapůsobení v podstatě bez ohledu na strmost přepětí, proto se nezjišťuje rázová charakteristika, ale zjišťují se reziduální napětí při různých velikostech proudů.

Pro návrh omezovačů jsou základní parametry:

- trvalé provozní napětí - nejvyšší efektivní velikost napětí se síťovým kmitočtem, které může být připojeno trvale na omezovač
- jmenovité napětí - efektivní velikost napětí se síťovým kmitočtem, na které je svodič navrhnout, aby v podmínkách dočasných přepětí správně působil.

[10]

Tab. 2 Technické parametry typu SBKC 96/10.3

Parametry	jednotky	hodnoty
<i>Jmenovité napětí</i>	<i>kV rms</i>	96
<i>Trvalé provozní napětí</i>	<i>kV rms</i>	77
<i>Dočasné převýšení napětí po dobu 1s</i>	<i>kV rms</i>	110
<i>Dočasné převýšení napětí po dobu 10s</i>	<i>kV rms</i>	104
<i>Zbytková napětí</i>		
<i>Atmosférický výboj (8/20μs) při výbojovém proudu 5 kA</i>	<i>kV crest</i>	219
<i>Atmosférický výboj (8/20μs) při výbojovém proudu 10 kA</i>	<i>kV crest</i>	230
<i>Atmosférický výboj (8/20μs) při výbojovém proudu 20 kA</i>	<i>kV crest</i>	251
<i>Atmosférický výboj (8/20μs) při výbojovém proudu 40 kA</i>	<i>kV crest</i>	267
<i>Strmý výboj (1/2μs) při výbojovém proudu 10 kA</i>	<i>kV crest</i>	251
<i>Spínací výboj (30/70μs) při výbojovém proudu 250 kA</i>	<i>kV crest</i>	184
<i>Spínací výboj (30/70μs) při výbojovém proudu 500 kA</i>	<i>kV crest</i>	190
<i>Spínací výboj (30/70μs) při výbojovém proudu 1000 kA</i>	<i>kV crest</i>	196
<i>Spínací výboj (30/70μs) při výbojovém proudu 2000 kA</i>	<i>kV crest</i>	202
<i>Výška h dle prospektu</i>	<i>mm</i>	1001
<i>Povrchová dráha</i>	<i>mm</i>	3200
<i>Váha (přibližná)</i>	<i>kg</i>	25
<i>Izolace pláště omezovače do výšky 1000 m.n.m.</i>		
<i>Jmenovité výdržné napětí za mokra</i>	<i>kV rms</i>	270
<i>Jm. výdržné napětí při atmosférickém impulzu (1,2/50μs)</i>	<i>kV crest</i>	550
<i>Jm. výdržné napětí při spínacím impulzu (250/2500μs)</i>	<i>kV crest</i>	395

Zdroj: Katalog výrobce, Tridelta_96kV102kV108kV-ZnO-10-kA-3.tr.

5 Technická diagnostika

Technická diagnostika je zjištění aktuálního technického stavu objektů za pomoci diagnostických prostředků měřicí techniky i smyslovým vnímáním na základě vyhodnocení příznaků, bezdemontážními a nedestruktivními postupy.

[13]

Cílem diagnostiky je prodlužování životnosti díky předcházení havárií, účelnému provádění oprav a následným snížením nákladů na údržbu.

[13]

5.1 Diagnostika

Diagnostika je okamžité vyhodnocování technického stavu objektu. Jedná se o vyhodnocení spolehlivosti a provozuschopnosti zařízení za daných podmínek.

[2]

Prognostika je určení vývoje stavu zařízení v budoucnosti. Je to složitý proces, který vychází ze znalosti zařízení a ze statistických vyhodnocení prováděných diagnostických zkoušek. Na základě prognostiky se určuje bezporuchovost zařízení, popřípadě se provádí zásah do zařízení.

[2]

Analýza pravděpodobných příčin vzniku poruchy nebo zhoršení technického stavu se nazývá genetika

[2]

5.2 Diagnostické prostředky

Diagnostické prostředky jsou soubory postupů a technických zařízení sloužících k vyhodnocení stavu zařízení. Diagnostické prostředky mohou být:

- On-line prostředky umožňují sledovat a diagnostikovat zařízení za chodu bez nutnosti odstavení sledovaného objektu z provozu. Tento monitoring může buď v pravidelných intervalech, nebo pomocí trvalého sledování zaznamenat vývoj trendů pozorovaných veličin a v závislosti na nich provádět následné zásahy a opravy.
- Off-line prostředky jsou soubory metod a zařízení sloužících k diagnostice zařízení vyjmutých z provozu.

[2]

5.3 Technický stav objektu

Technický stav objektu je dán souborem vybraných vlastností objektů, na základě kterých se posuzuje aktuální technický stav objektu. Vlastnosti objektu se v čase mění, a proto

technický stav objektu definujeme jako schopnost zařízení konat požadovanou funkci za stanovených podmínek. Pro posouzení technického stavu jednotlivých objektů se používají diagnostické ukazatele odvozené z jednoho nebo více naměřených parametrů.

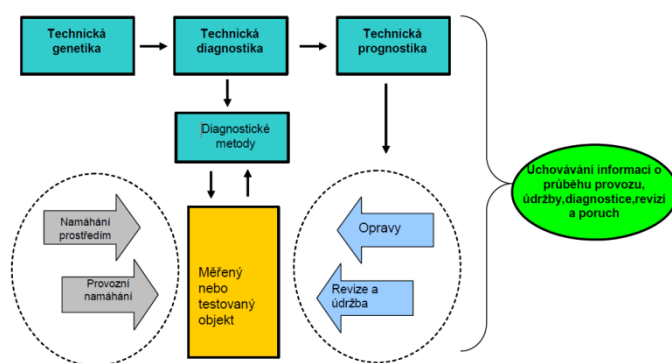
[2]

5.4 Metody a koncepce technické diagnostiky

Výskyt závad i míru degradace funkčních vlastností a jejich lokalizaci mají určit metody technické diagnostiky. Objekt je provozuschopný, pokud je schopen vykonávat požadované funkce za daných podmínek.

Stav, při kterém dochází k odchylkám měřených parametrů bývá nazýván porucha. Porucha je jev, který způsobí ukončení provozuschopnosti objektu. Většinou nedochází ke skokové změně parametrů, ale k postupným změnám hodnot parametrů. Technický stav objektu se zhoršuje postupně. Každá porucha je vadou, ale ne každá vada je poruchou

[13]



Obr. 20 Koncepce technické diagnostiky

Zdroj: Chmelík, K.: Technická diagnostika na elektrických zařízeních

6 Diagnostika svodičů a omezovačů přepětí VN a VVN

Svodiče přepětí, jakožto důležité ochranné prvky elektrické soustavy, jsou v průběhu svého života namáhány řadou faktorů ovlivňujících jejich funkci. Může se jednat o normální napětí, krátkodobá a dlouhodobá přepětí či přepětí vzniklá úderem blesku. Tyto faktory mohou způsobit nárůst odporové složky trvalého svodového proudu tekoucím omezovačem přepětí a způsobit tak následnou poruchu. Proto by měla být diagnostika svodičů přepětí ověřující provozuschopnost a životnost jejich nedílnou součástí.

Značná část metod určujících stav svodičů přepětí je založena na měření svodového proudu. Porušení izolačních vlastností způsobí při dané teplotě a velikosti napětí nárůst odporové složky svodového proudu a činných ztrát. Tato metoda se dá rozdělit na diagnostiku svodičů přepětí za provozu (on-line) a na diagnostiku svodičů přepětí vyjmutých z provozu (off-line).

[9]

Před začátkem jakéhokoliv měření je potřeba důsledně zkontrolovat mechanický stav svodičů přepětí. Důraz přitom klademe na trhliny v plášti, které jsou nepřípustné. Svodič s těmito trhlínami by měl být okamžitě vyřazen. Ulomené sukénky v menším množství nemusí být na závadu, většinou má povrchová dráha rezervu. Posouzení, zda zůstane svodič přepětí v provozu, provede zkušební technik dle výsledků diagnostických měření a rozsahu poškození.

Dále je potřeba při kontrole mechanického poškození těchto přístrojů klást důraz na kontrolu přírub, které by neměly být zkorodované, a tmelení by nemělo být vydrolené. Necelistvostí tmelení se zvyšuje pravděpodobnost pronikání vlhkosti do vnitřních částí přístroje, která podporuje degradaci svodiče přepětí. V tomto případě se provádí opravy až po provedení diagnostických měření a pouze pokud hodnoty měření odpovídají doporučeným hodnotám výrobce vhodným pro provoz. V rámci sledování bezpečného provozu se u těchto případů zkracuje lhůta periodického měření.

[16]



Obr. 21 Ukázka vnitřních částí demontovaného svodiče přepětí

Při kontrole pláštěů z kompozitních materiálů sledujeme změny barvy, křídování a erozi povrchu. Slabá eroze, slabé křídování a změny barvy jsou bez omezení provozu. Při silném křídování, erozi a při vytváření zuhelnatělých vodivých cest může docházet k poruchám izolátorů. Pokud při kontrole zjistíme některou z těchto nežádoucích změn, doporučuje se provést měření částečných výbojů a provést kompletní diagnostiku svodiče přepětí.



Obr. 22 Ukázka změny stavu pláště z kompozitních materiálů

Mezi přírubou a kompozitním materiálem musí být dokonalé utěsnění bez viditelných trhlin kvůli zabránění pronikání vlhkosti.



Obr. 23 Ukázka místa, kudy pronikala vlhkost do pláště

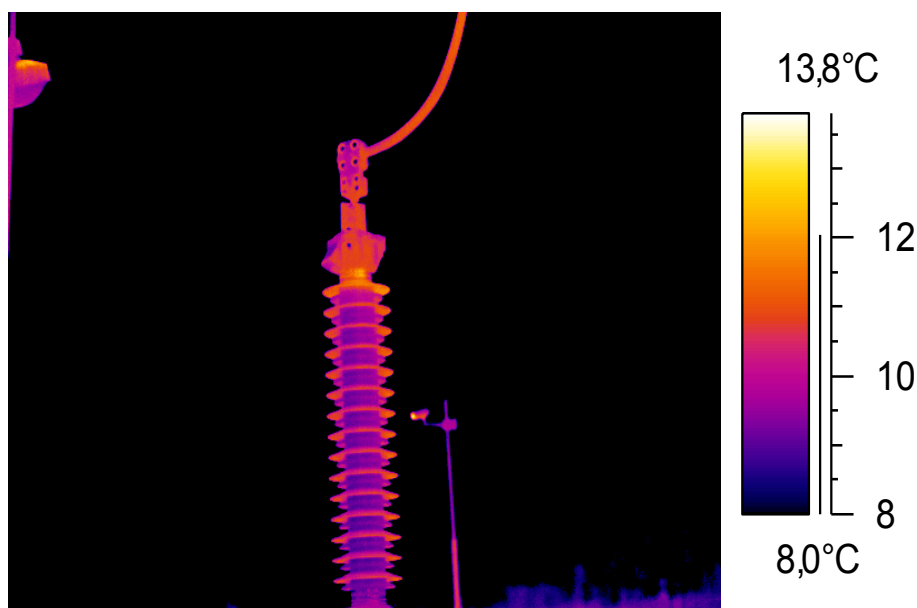
6.1 Diagnostika svodičů a omezovačů přepětí za provozu (on-line)

Během provozu přístroje se provádí pravidelné kontroly v daných intervalech nebo ve zkrácených intervalech v závislosti na aktuálním stavu daného zařízení. Mezi nejpoužívanější metody patří:

- měření teploty
- měření třetí harmonické odporové složky svodového proudu
- měření částečných výbojů

6.1.1 Měření teploty

Toto měření se může provádět na dálku termovizními metodami a provádí se zejména porovnávací metodou. Jedná se o analýzu infračervené energie vyzářené povrchem tělesa. Infračervené záření je lidskému oku neviditelné a tím pádem je nutné jej vizualizovat použitím infračervených palet, kdy se různým teplotám přiřazuje různá barva.



Obr. 24 Termovizní snímek svodiče přepětí 110kV

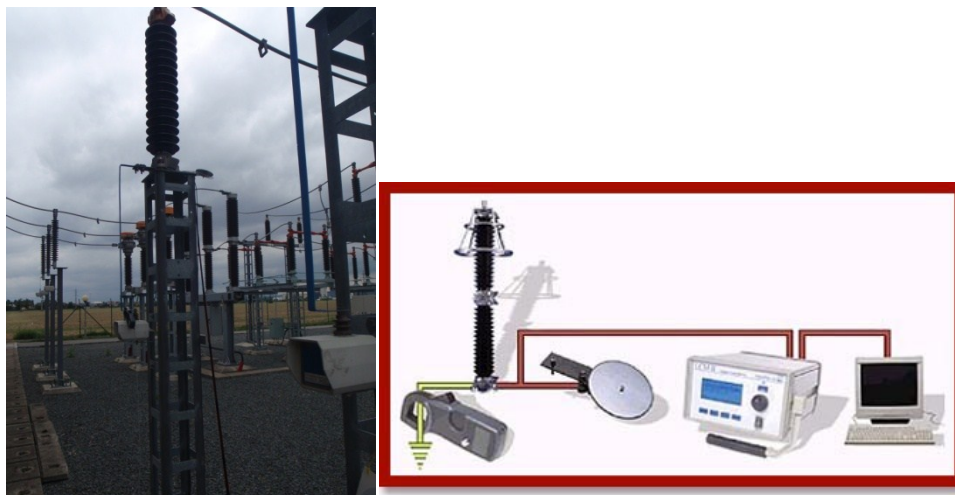
6.1.2 Měření třetí harmonické odporové složky svodového proudu

Harmonické složky třetího řádu proudu jsou eliminovány, aby byla zjištěna třetí harmonická odporové složky proudu, generovaná svodičem přepětí. Třetí harmonická je největší harmonická složka rezistivního proudu a často využívaná pro diagnostická měření. Tuto složku lze vztáhnout k celkové velikosti odporového svodového proudu a je kritériem pro vyhodnocení celkového stavu svodiče přepětí. Pro toto měření se používá například přístroj LCM II, který je možné používat jako přenosný přístroj pro pravidelné periodické kontroly, nebo jako přístroj pro trvalé monitorování. Metoda, kterou přístroj využívá, se nazývá analýza harmonické třetího řádu s kompenzací harmonických složek v napětí soustavy. Svodič přepětí je namáhán sinusovým napětím, nelineární odpor bloku ZnO zavede třetí harmonickou odporového proudu do svodového proudu. Tato složka je tedy generována omezovačem přepětí a bylo zjištěno, že tato metoda představuje nejlepší nástroj ke zjišťování změn nelineární charakteristiky v průběhu stárnutí omezovačů přepětí.



Obr. 25 Měřicí přístroj LCM II k měření třetí harmonické odporové složky proudu
Zdroj: Uživatelská příručka měřicího přístroje LCM II

Odporová složka svodového proudu závisí na provozním napětí a na teplotě samotného svodiče přepětí, respektive na teplotě okolí. Pokud by nebyly hodnoty napětí a teploty brány v úvahu, lišila by se hodnota odporové složky svodového proudu ve značném rozsahu (viz. tab. 2), kdy bylo provedeno měření pro různé napětí a různé teploty.



Obr. 26 Diagnostika svodiče přepětí přístrojem LCMII - měření třetí harmonické odporové složky proudu

Zdroj: Uživatelská příručka měřicího přístroje LCM II

Tab. 3 Korekce hodnot vzhledem k teplotě

Teplota[C]	0	0	0	20	20	20	40	40	40	50	50	50
Systémové napětí [kV]	380	400	420	380	400	420	380	400	420	380	400	420
Naměřená hodnota [μ A], nekorigovaná	31	39	47	47	48	70	67	82	99	75	92	112
Naměřená hodnota [μ A], korigovaná	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46

Protože nelze zajistit měření vždy při stejné teplotě, respektive při teplotě 20 °C, je nutné pro zajištění spolehlivého výsledku a jeho možnosti následného porovnání s výsledkem z předešlého měření, provést korekci - přepočítání na tuto teplotu. Pro správné vyhodnocení a určení stavu omezovače je důležité znát parametry od výrobce, se kterými jsou naměřené hodnoty porovnávány, a dle kterých jsou následně vyhodnoceny.

[18]

6.1.3 Měření částečných výbojů

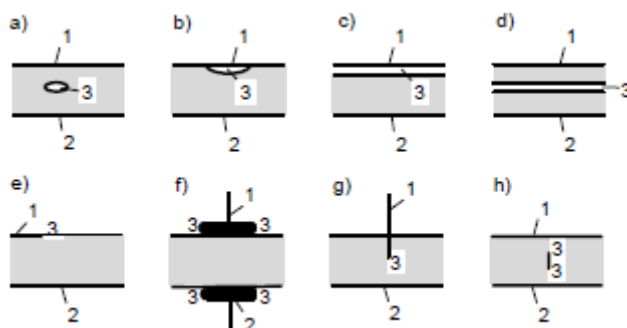
Částečné výboje jsou lokalizované elektrické výboje, které částečně přemostňují izolaci mezi vodiči, a mohou se objevit v jejich okolí. Zpravidla jsou následkem koncentrací lokálního elektrického namáhání na povrchu nebo v izolaci. Vesměs se tyto výboje vyskytují

jako krátké impulzy trvající méně než $1 \mu\text{s}$. Tyto výboje jsou mnohdy doprovázeny emisí světla, tepla, zvuku a chemickou reakcí (degradace).

[8]

Částečné výboje většinou rozdělujeme na :

- Povrchové výboje - jedná se o výboje na rozhraní plynného a pevného dielektrika v blízkosti elektrod.
- Vnější výboje - výboje v plynech, v blízkosti elektrod s malým poloměrem.
- Vnitřní výboje - výboje v plynech, které obklopuje kapalně nebo plynné dielektrikum. Příkladem je výboj v plynových dutinkách pevného dielektrika.

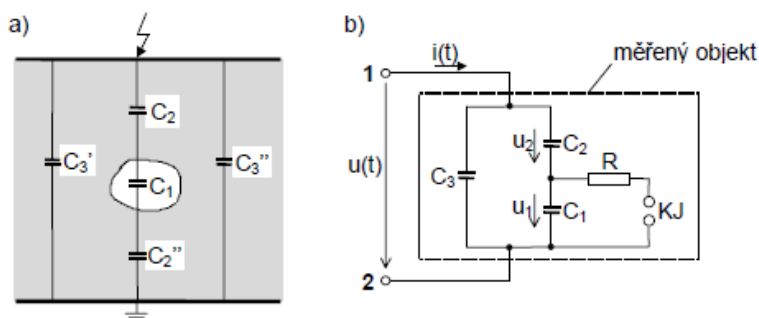


Obr. 27 Příklad vnitřních a povrchových částečných výbojů

Zdroj: Prskavec, L.: Měření částečných výbojů, Semestrální projekt

Náhradní schéma a model vnitřních částečných výbojů v pevném dielektriku, kde obr. 28a představuje schéma pevného dielektrika a v něm plynovou dutinku. C_1 představuje kapacitu dutinky v plynu, C_2 představuje kapacitu zbylé izolace, která je s dutinkou v sérii. C_3 představuje kapacitu zbytku dielektrika. Na obr. 28b je schéma, kde KJ představuje kulové jiskřiště, které je připojeno paralelně k C_1 a v tomto obvodu představuje při překročení elektrické pevnosti přeskok v bublince. R je odpor cesty výboje po přeskoku na kulovém jiskřišti.

[12]

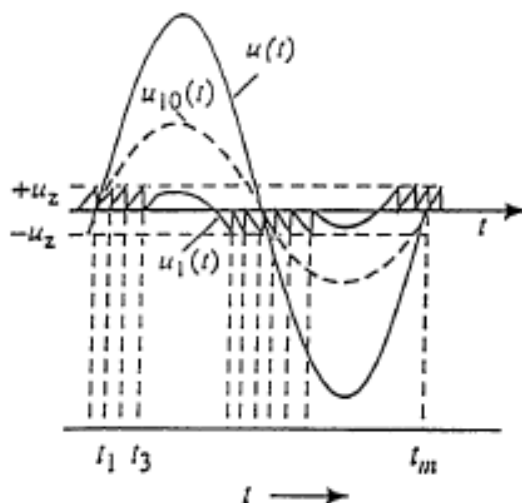


Obr. 28 Náhradní schéma a model vnitřních částečných výbojů v pevném dielektriku

Zdroj: Prskavec, L.: Měření částečných výbojů, Semestrální projekt

Po přiložení střídavého napětí $u(t)$ na svorky, pokud by nenastal v dutince přeskok (na kulovém jiskřišti), je na C_1 průběh napětí:

$$U_{10}(t) = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot u(t) \quad (6.1.3.1)$$



Obr. 29 Časový průběh napětí $u(t)$ a fiktivního $u_{10}(t)$ na dutince bez přeskoků

Zdroj: Prskavec, L.: Měření částečných výbojů, Semestrální projekt

Všechny druhy částečných výbojů mají na izolaci destruktivní účinky (koróna ve většině případů ne). V dielektriku vyvolávají částečné výboje tepelné, elektrické, chemické a erozivní účinky (namáhání nebo degradaci). Vzhledem k tomu, že částečné výboje zmenšují jak životnost, tak i spolehlivost systémů a přístrojů, jsou tím pádem nežádoucí a na jejich lokalizaci by měl být kladen důraz. Pokud je zařízení vhodně navrženo, neměly by se částečné výboje tvořit.



Obr. 30 Diagnostika částečných výbojů na rozvodně 110 kV

Zdroj: Prezentace ČEPS, .a.s.

Metody pro diagnostiku částečných výbojů

- přepět'ové zkoušky
- stejnosměrná měření
- střídavá můstková měření
- pulzní a vysokofrekvenční měření
- mechanická a akustická měření (ultrazvuk)
- tepelná a chemická měření (lokální ohřev-termovize, tvorba ozónu)
- smyslová kontrola (sluch, optická)

[12]

6.2 Diagnostika svodičů a omezovačů přepětí vyjmutých z provozu (off-line)

Diagnostika zařízení vyjmutých z provozu vyžaduje odpojení zařízení od napětí. Zařízení je tak mimo provoz a nazývá se testovací diagnostika. Mezi nejpoužívanější metody patří:

- měření referenčního napětí
- měření svodového proudu
- měření střídavého zapalovacího napětí

6.2.1 Měření referenčního napětí

Před započítím samotného měření, je nutné získat od výrobce hodnotu referenčního proudu jednotlivých typů omezovačů. Referenční proud je vrcholová hodnota proudu, při kterém se měří referenční napětí. Referenční napětí je taková hodnota napětí, při které protéká omezovačem přepětí referenční proud. Minimální hodnota referenčního napětí musí být dle normy součástí dodávaného přístroje od výrobce.

Tab. 4 Příklad hodnot referenčního proudu výrobce TRIDELTA

TYP OMEZOVAČE	I_{ref} [mA]
SB 390/20.4-II-A	10
SB 336/10.4-II-A	10
SB 192/10.3-I-A	10
SB 102/10.3-I	10
SB 102/10.2	5
SBH 96/10.3-O-A	10

Zdroj: Zkušební metodika AZVN, ZM 07

Tab. 5 Příklad hodnot referenčního proudu výrobce EXLIM

TYP OMEZOVAČE	I_{ref} [mA]
P 360 - BH 420	3
Q 198 - AV 245	2
P 192 – AH 245	3
P 192 – BH 245	3
Q 192 – BH 245	2
Q 096 – AH 123	2
Q 015 – BV 012	2

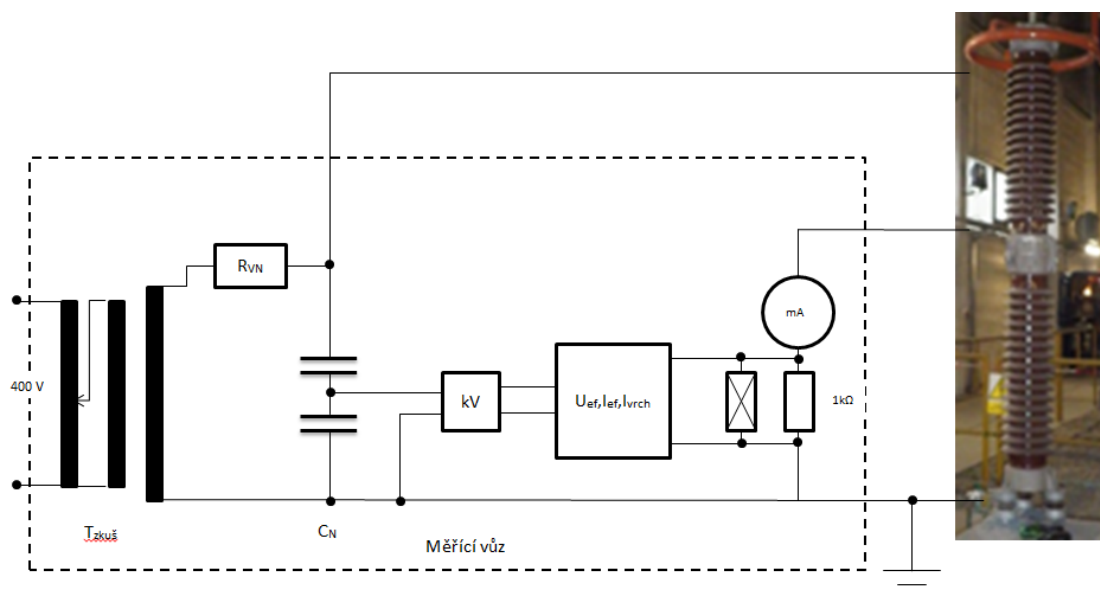
Zdroj: Zkušební metodika AZVN, ZM 07

[15]

Průběh měření referenčního napětí je následovný. Na zkušebním zdroji se nastaví provozní fázové napětí a překontroluje se funkce přístrojů. Dále se rychle zvyšuje hodnota zkušebního napětí do doby, než začne omezovačem protékat referenční proud předepsaný výrobcem. Doba, kdy je na omezovač přepětí přiloženo referenční napětí by měla být co nejkratší, proto se odečtení hodnot z měřicích přístrojů musí provést v co nejkratší možné době (během několika sekund). Po odečtení hodnot se sníží napětí na nulovou hodnotu a zdroj se vypne. Hodnota naměřeného referenčního napětí by měla být větší nebo rovna hodnotě referenčního napětí udávaného výrobcem:

$$U_{ref} \geq U_{ref \text{ výrobce}} \quad (6.2.1.1)$$

[16]



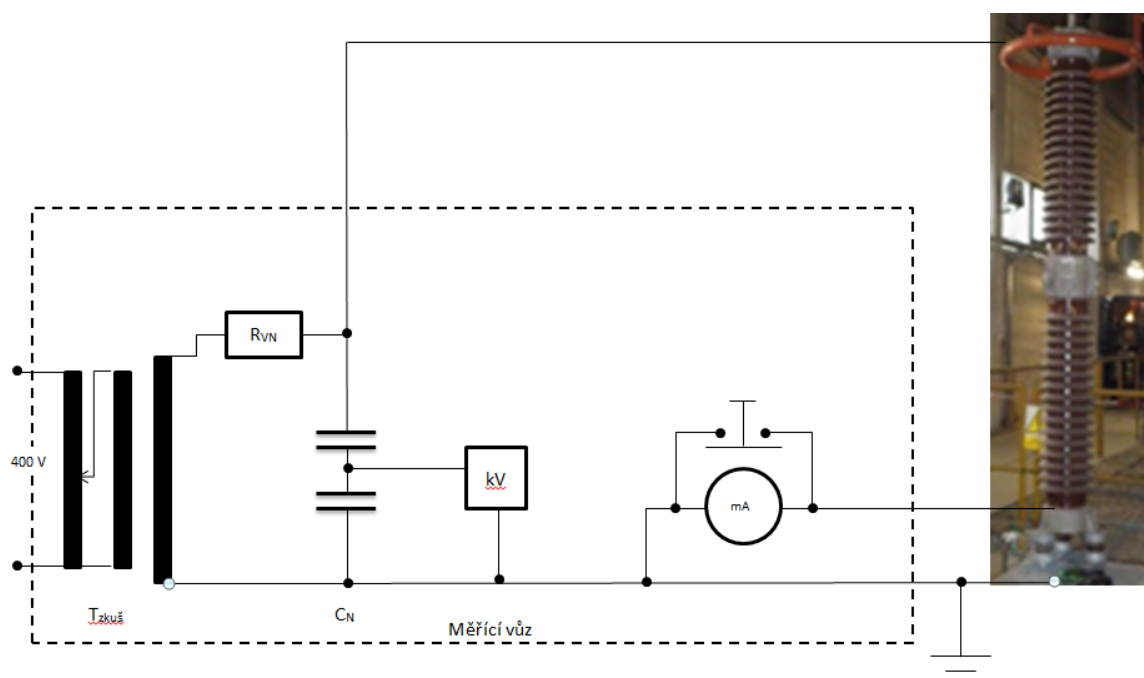
Obr. 31 Schéma zapojení při měření referenčního napětí

Zdroj: Zkušební metodika AZVN, ZM 06

6.2.2 Měření svodového proudu

Svodový proud se skládá z kapacitní a činné složky a může se měnit v závislosti na teplotě, vlhkosti, znečištění povrchu a vlivem rozptylové kapacity. Složka kapacitní závisí na uspořádání, výšce a kapacitních kruzích. Pokud je na svodiči nainstalován kapacitní kruh, jsou naměřené hodnoty vyšší, než na svodiči přepětí bez nainstalovaného kapacitního kruhu. Pokud je zvýšená vlhkost, je možné, že se bude uplatňovat povrchový svodový proud. Při tomto měření se uplatňuje srovnávací metoda (výrobce neudává hodnoty svodového proudu), kdy se srovnávají naměřené výsledky mezi jednotlivými fázemi (podmínkou je srovnávat stejné typy svodičů přepětí) s výsledky z předchozích měření. Proto je nutné důsledně zaznamenávat atmosférické podmínky v průběhu měření.

[16]



Obr. 32 Schéma zapojení při měření svodového proudu a zapalovacího napětí

Zdroj: Zkušební metodika AZVN, ZM 07

Napětí z externího zdroje se přiloží na bleskojistku a zvyšuje se do hodnoty U_s pro kterou platí vztah $U_s = 0,7 \cdot U_N$, kde U_s je napětí při kterém se měří svodový proud a U_N je jmenovité napětí bleskojistky nebo dílu bleskojistky. Na ampérmetru se odečítá hodnota svodového proudu při dosaženém napětí U_s . Ta by neměla překročit hodnotu 0,5 mA a hodnotu 0,7 mA u bleskojistky s kapacitním kruhem.

[16][14]

6.2.3 Měření střídavého zapalovacího napětí

Cílem tohoto měření je zjištění minimálního střídavého napětí, při kterém dojde k zapálení svodiče přepětí. Vyhodnocení tohoto měření garantuje, že nedojde k zapálení při provozním napětí. Toto měření je důležité pro zajištění kvality bleskojistek. Protokol výrobce o továrním měření střídavého zapalovacího napětí každé bleskojistky by měl být archivován pro možnost následného porovnání.



Obr. 33 Diagnostika bleskojistky 110kV - měření střídavého zapalovacího napětí měřicím vozem

Napětí z externího zdroje se přiloží na bleskojistku v nulové hodnotě, aby nedošlo k zapálení bleskojistky. Zvyšuje se postupně na hodnotu zapalovacího napětí, která se odečte z voltmetru v momentě zapálení bleskojistky. Proud, který prochází bleskojistkou po jejím zapálení, se má vypnout do 0,5 s a vnější impedancí by měl být omezen na hodnotu menší, než 0,7 A. Pokud výrobce neudá jinak (nesmí být nižší, než udává norma, přípustné jsou tedy hodnoty vyšší), tak nejmenší hodnota střídavého zapalovacího napětí dle normy nesmí být menší než 1,5 násobek jmenovitého napětí bleskojistky. Například nejmenší hodnota zapalovacího napětí pro bleskojistku 60 kV je 90 kV. Pokud je tedy hodnota menší, je nutné provést výměnu bleskojistky, nebo vadného dílu.

[16][14]

Tab. 6 Příklad hodnot zkušebního zapalovacího napětí u bleskojistek typu TRIDELTA VA/10.2

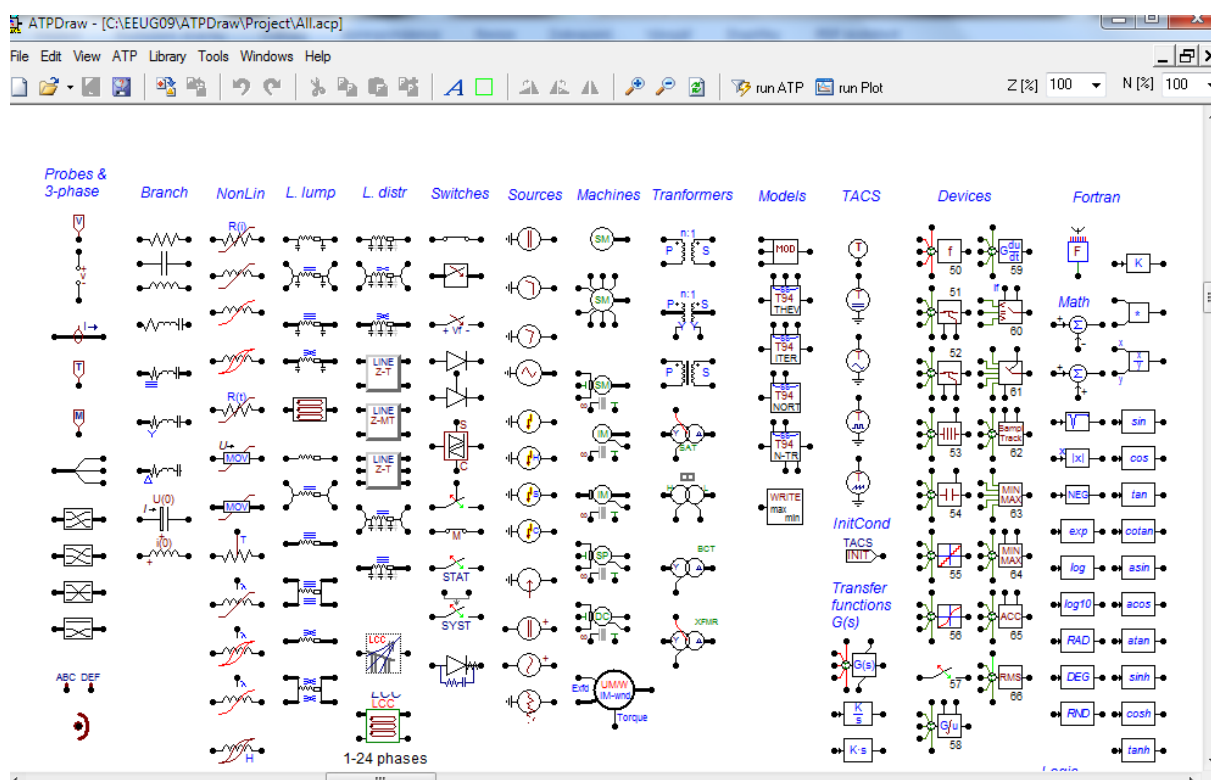
TYP	POČET DÍLŮ BLESKOJISTKY		ZÁPALNÉ NAPĚTÍ BLESKOJISTKY	
	1	2		
	ZKUŠEBNÍ NAPĚTÍ JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ BLESKOJISTKY[kV]		MIN.	MAX.
VA 48/10.2	48	X	75	95
VA 51/10.2	51	X	80	100
VA 60/10.2	60	X	95	120
VA 72,5/10.2	72,5	X	115	145
VA 96/10.2	48	48	150	190
VA 100/10.2	48	60	160	200
VA 102/10.2	51	51	160	200

Zdroj: Katalog výrobce

[16][14]

7 Simulace přechodného děje pomocí programu ATP

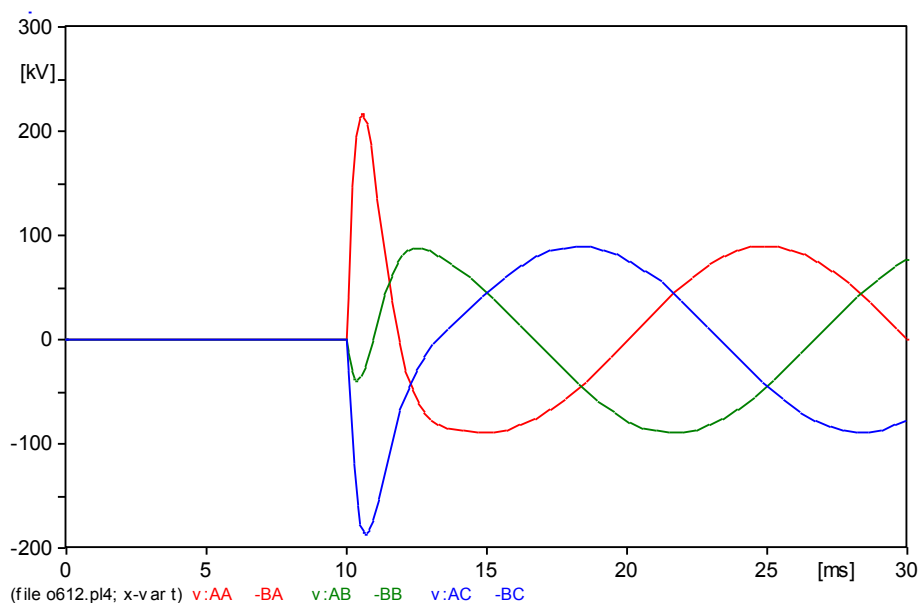
Program ATP je univerzální systém, sloužící k simulaci přechodných jevů, převážně elektromagnetických a elektromechanických. S tímto programem lze díky jeho vlastnostem a modelovacím schopnostem řešit jak rozsáhlé elektrické sítě, tak řídicí systémy. Díky obsáhlým nástrojům můžeme řešit poruchové děje, spínací děje, korunu, oblouk a spoustu dalších.



Obr. 34 Uživatelské prostředí programu ATP DRAW

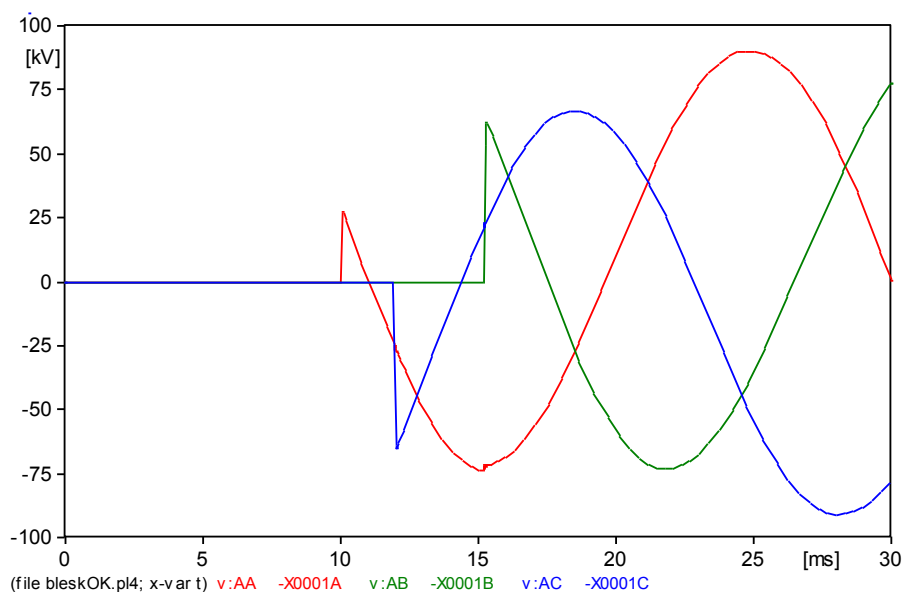
Na obr. 35 je znázorněno přepětí vznikající vypínáním malých induktivních proudů, kde dojde k vypnutí kontaktů v čase 10 ms. Jedná se o nejhorší případ, kdy proud dosáhne své vrcholové hodnoty.

[19]



Obr. 35 Obvod bez bleskojistiky

Vzhledem k tomu, že se tato práce nezabývá modelováním přechodných dějů a modelováním svodičů přepětí, nebyla provedena podrobná analýza. Model v ATP pracuje s idealizovanými prvky a sestavení svodiče přepětí, který by odpovídal reálnému modelu, by bylo značně náročné. Proto je na obr. 36 pouze naznačena možnost sepnutí bleskojistiky a nastínění možnosti snížení přepětí v obvodu.



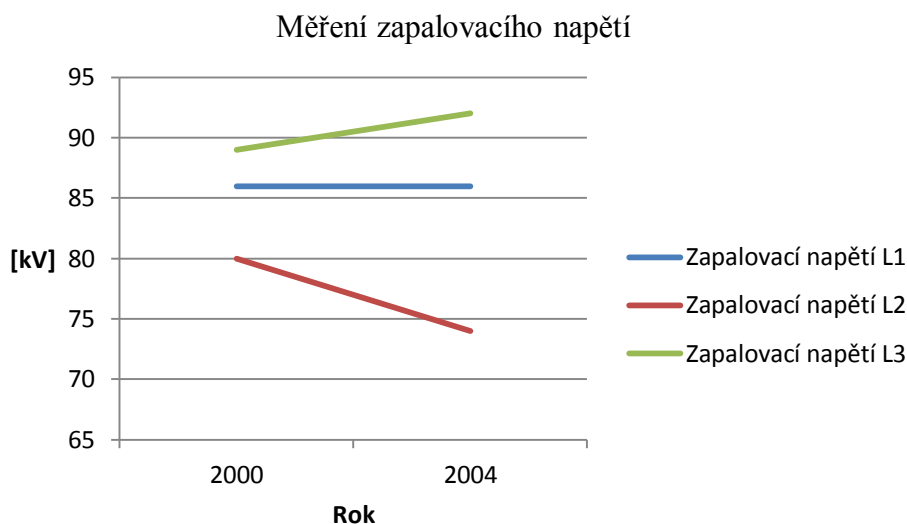
Obr. 36 Obvod s bleskojistkou

8 Analýza dosažených výsledků

V elektrické síti probíhá množství dějů, které tuto síť ovlivňují a zatěžují. Svodiče a omezovače přepětí jsou jedním z prvků, které dokáží síť před nežádoucími jevy chránit. S jakýmkoliv přepětím ztrácejí tyto prvky energetické soustavy schopnost působit. V rozvodné soustavě patří svodiče a omezovače přepětí k prvkům s nejmenší cenou, i přesto, že chrání zařízení, které v energetické soustavě patří k těm nejdražším. Proto je nutné u těchto prvků dbát zvýšené pozornosti při kontrole jejich správné funkce.

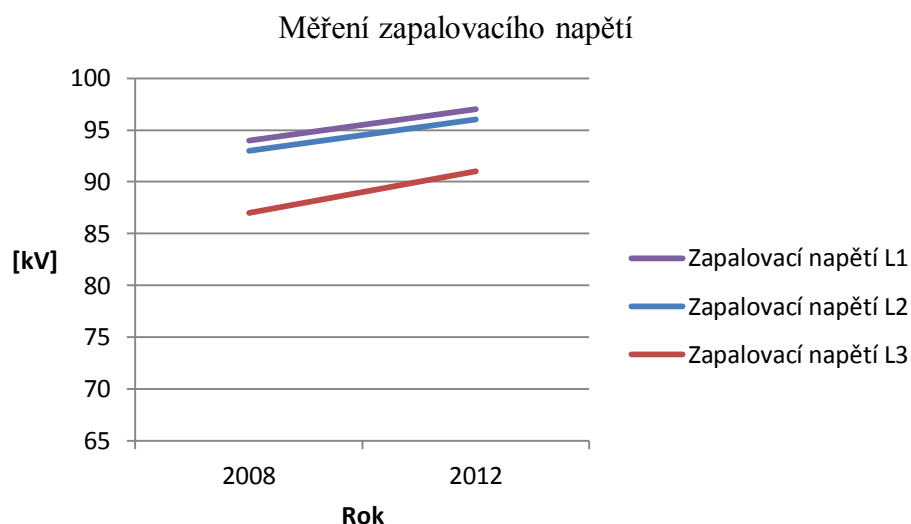
Bylo provedeno několik diagnostických měření jak na svodičích přepětí, tak na omezovačích přepětí s časovým odstupem. Pro tato měření byly použity postupy, popsané v kapitole č. 6, zabývající se diagnostikou těchto prvků.

U svodičů přepětí to byly diagnostické metody off-line - měření střídavého zapalovacího napětí, kde bylo prokázáno, že s časem se schopnost působení svodičů přepětí zmenšuje, viz. obr. 37. Při překročení hranice stanovené výrobcem nebo normou je nutný okamžitý zásah - ve většině případů výměna zařízení.



Obr. 37 Vývojový graf měření střídavého zapalovacího napětí u bleskojistky VA100/10.2

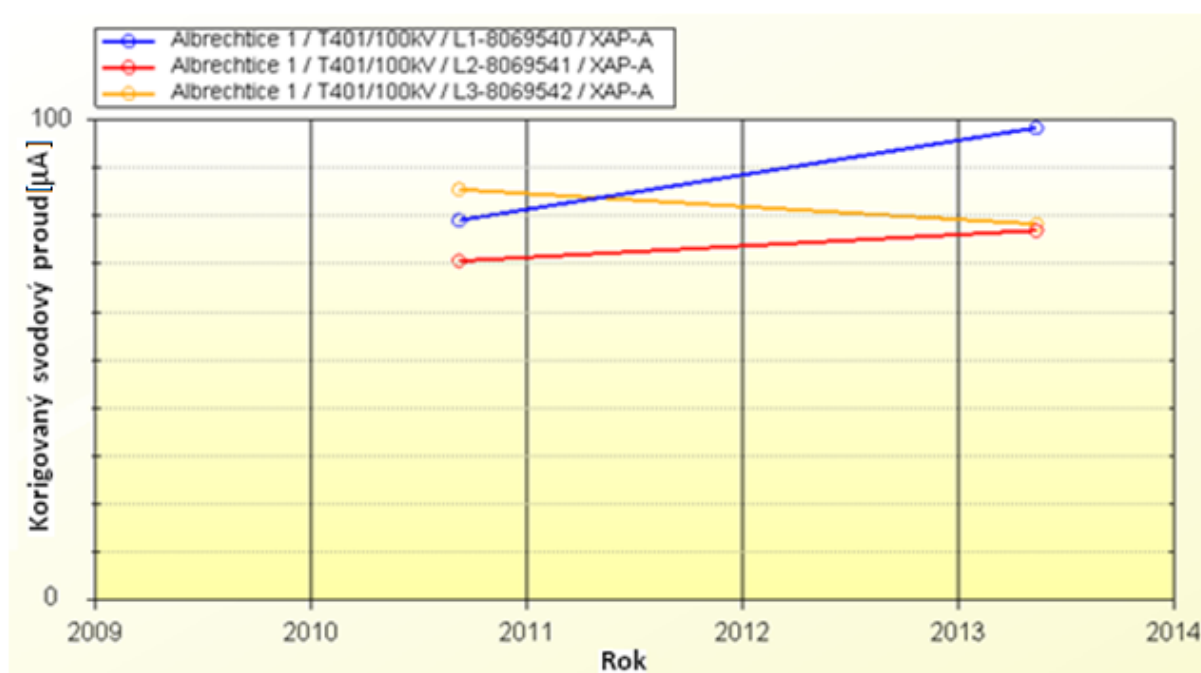
V tomto případě došlo k zapálení bleskojistky ve fázi L2 při napětí 74 kV, což je hodnota, kterou výrobce udává jako nepřipustnou a byl to podnět k okamžité výměně spodního dílu bleskojistky.



Obr. 38 Vývojový graf měření střídavého zapalovacího napětí u bleskojistky VA102/10.2

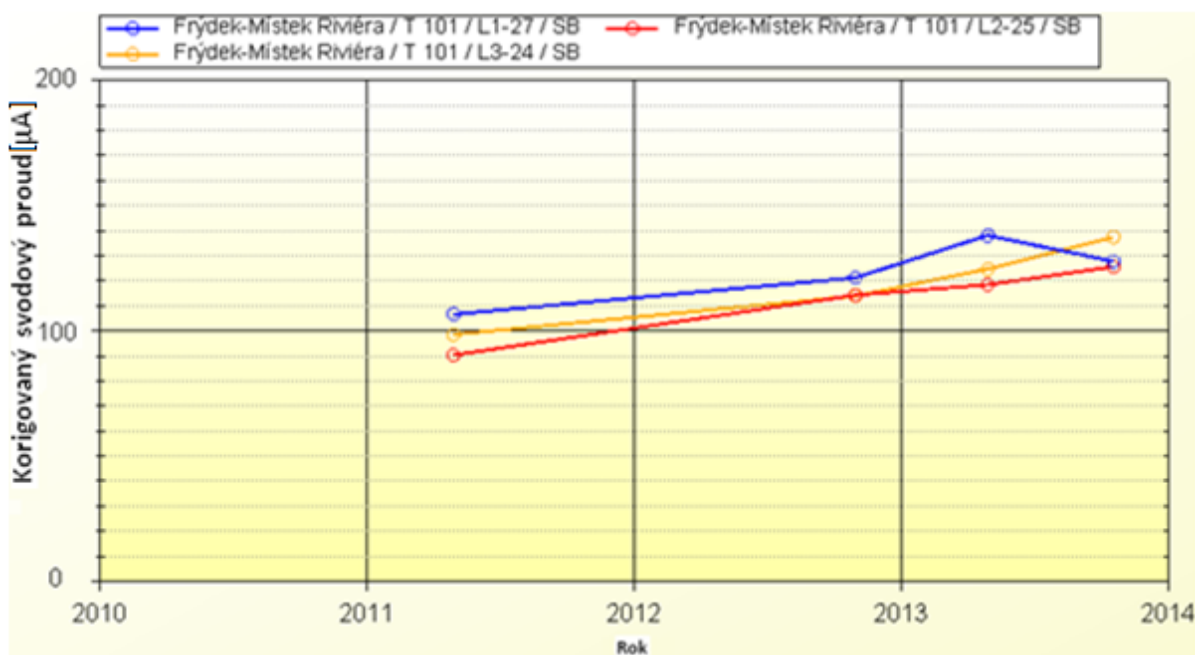
U tohoto měření střídavého zapalovacího napětí byly zjištěny krajní hodnoty udávané výrobcem. Bylo tedy doporučeno opakování diagnostiky ve zkrácené lhůtě dva roky

U omezovačů přepětí to naopak byly diagnostické metody on-line - měření třetí harmonické odporové složky svodového proudu, kde bylo zjištěno, že svodový proud v čase mění svou velikost. Při překročení hranice stanovené výrobcem, je nutný okamžitý zásah, ve většině případů výměna zařízení.



Obr. 39 Vývojový graf měření třetí harmonické odporové složky svodového proudu

V případě uvedeném na obr. 39 bylo doporučeno opakování měření ve zkrácené lhůtě jeden rok, kde následná analýza odhalila postupný nárůst svodového proudu. V těchto případech se doporučuje sledovat tento nárůst, a pokud se hodnota zvýší nad hodnotu stanovenou výrobcem, je nutné podniknout kroky vedoucí k nápravě, což bývá nejčastěji výměna vadného zařízení.



Obr. 40 Vývojový graf měření třetí harmonické odporové složky svodového proudu - sledování nárůstu svodového proudu ve zkrácené lhůtě

Při provádění měření na obr. 40, se v roce 2011 zjistila vysoká hodnota svodového proudu. Proto bylo provedeno opakované měření ve zkrácené lhůtě dva roky. Po opakované diagnostice byl zjištěn opětovný nárůst svodového proudu. Následné měření se provedlo ve zkrácené lhůtě jeden rok, kde se opět zjistil přírůstek. Zvýšili jsme četnost měření a při měření po půl roce, byl na tomto omezovači zjištěn opětovný přírůstek. Od roku 2011 do roku 2013, byl u tohoto omezovače přepětí zjištěn přírůstek svodového proudu v rozmezí od 30 μA do 40 μA . Pokud hodnota dosáhne 200 μA , doporučuje se kontaktovat výrobce a následně zvolit postup v souladu s doporučením. Při hodnotě 500 μA se nedoporučuje uvádět toto zařízení do provozu.

V roce 2010 byla provedena diagnostika omezovače přepětí 400 kV přístrojem LCMII. Byly naměřeny vysoké hodnoty svodových proudů. Následně bylo provedeno měření referenčního napětí, kterým byla potvrzena závada na tomto omezovači přepětí



Obr. 41 Pohled do vnitřní části omezovače přepětí

Po této diagnostice byla doporučena okamžitá výměna. Na vadném svodiči přepětí byla provedena rozborka, při které byla zjištěna koroze a oxidace vnitřních částí. Příčinou bylo pronikání vlhkosti díky nedokonalému utěsnění.



Obr. 42 Koroze vnitřních dílů

Díky diagnostice a včasnému odhalení poruchy na tomto přístroji nedošlo k poruše většího rozsahu a vadný svodič přepětí byl nahrazen dříve, než došlo k jejímu selhání a

následnému možnému poškození ostatních prvků elektrické stanice a ohrožení dodávky elektrické energie.

Všem těmto metodám předcházely optické metody, ke kterým patří pohledová kontrola stavu svodičů a omezovačů přepětí. U omezovačů přepětí z kompozitních materiálů byly nalezeny kusy, které měly až dvoumilimetrové praskliny. Dle vyjádření výrobce je nutné sledovat tloušťku a hloubku těchto prasklin a při překročení hranice čtyř milimetrů kontaktovat výrobce.



Obr. 43 Detail prasklin pláště z kompozitních materiálů

V tomto případě byly zjištěny praskliny ve velkém rozsahu. V co nejbližší době bude provedena kompletní diagnostika, která nám odhalí, zda li mají takto hluboké trhliny vliv na vlastnosti a stav těchto přístrojů.

V roce 2008 došlo na zapouzdřené rozvodně k zemnímu spojení na lince vysokého napětí. Díky tomuto zemnímu spojení došlo v síti ke zvýšení napětí nad hodnotu zápalného napětí a následně tak k aktivaci omezovač přepětí. Na obr. 44 je znázorněn omezovač, který byl vlivem přepětí zdeformován. Došlo k destrukci svodičů ve všech fázích a následně ke zničení přístrojových transformátorů proudu a napětí. K zemnímu spojení došlo i v sousedních dvou linkách, kde došlo k podobným škodám. Pokud by omezovače přepětí nebyly instalovány, došlo by zřejmě ke škodám rozsáhlejšího charakteru.



Obr. 44 Poškozený omezovač přepětí

V roce 2013 došlo na stejném místě k zemnímu spojení jedné linky vysokého napětí. Přepětí zřejmě nedosahovalo takových parametrů jako v roce 2008 a došlo tak pouze ke zničení jednoho omezovače přepětí a jednoho přístrojového transformátoru napětí.

Vzhledem k obrovskému množství prvků na napěťové hladině vysokého napětí, se neprovádí pravidelná kontrola - diagnostika těchto prvků rozvodné soustavy. Proto na této hladině dochází k častějším poruchám než na hladině velmi vysokého napětí a vyššího. Tyto poruchy působí v rozvodné soustavě velké potíže, avšak škody, které tyto poruchy způsobí, nedosahují takové výše, aby bylo nutné provádět pravidelné kontroly.

Díky provedeným kontrolám a měřením bylo odhaleno množství vadných i postupně degradujících prvků. Těmito kontrolami se potvrdilo, že se tyto úkony jeví jako potřebné a jsou důležitým nástrojem ke zjišťování jejich stavu.

Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabýval ochranou před přepětím v síti vysokého a velmi vysokého napětí a vlivem provozu na ochranné prvky této soustavy. Nejprve jsem provedl popis provozních podmínek působících na elektrické zařízení, vliv pracovního prostředí a vliv provozu přístroje. Následně jsem jednotlivé vlivy popsal, protože mají vliv na zkracování životnosti. Jedním z vlivů, které působí na elektrické zařízení je přepětí. Přepětí je krátkodobý přechodný děj, který vzniká v elektrické síti právě vlivem provozu a vlivem pracovního prostředí. Popsal jsem možný vznik jednotlivých druhů přepětí a specifikoval přepětí s ohledem na jejich původ. Namáháním izolačních systémů jakýmkoliv napětím, které je vyšší než provozní, může dojít k poruše, ke škodám na majetku a k přerušení dodávky elektrické energie. Protože je provozovatel povinen zajistit spolehlivou dodávku elektrické energie, jsou ochrany před přepětím důležitým prvkem celé rozvodné sítě a je snahou přepětí a jeho následky eliminovat na co nejmenší hladinu.

V této práci jsem se zabýval možnostmi ochrany před přepětím pomocí přístrojů nazývaných svodiče a omezovače přepětí. Popsal jsem některé druhy těchto zařízení a princip jejich působení. Ochranná schopnost těchto přístrojů klesá nejen s každým zapůsobením, ale i vlivem prostředí, které na daný prvek působí. Tyto přístroje i přes jejich nízkou cenu chrání rozvodnou síť a jednotlivé prvky této sítě, jejichž cena je značná. Proto jsem se dále zaměřil na možnosti sledování stavu svodičů a omezovačů přepětí a schopnosti vykonávat požadovanou funkci.

V kapitole zabývající se diagnostikou uvedených přístrojů jsem se zaměřil na možné způsoby kontroly stavu těchto přístrojů. Popsal jsem metody sloužící k odhalení jak vadných přístrojů, tak přístrojů, u kterých dochází ke zhoršení stavu. Popsanými způsoby bylo v praxi nalezeno několik vadných přístrojů. Některé z nich byly podrobeny analýze, která zjistila korozi vnitřních dílů díky pronikající vlhkosti. Tyto analýzy následně potvrdily výsledky z měření. U několika měřených svodičů a omezovačů přepětí bylo postupem času zjištěno zhoršování stavu. Těmto případům je nutné věnovat zvýšenou pozornost a provádět diagnostiku s častějším intervalem, než stanovuje řád preventivní údržby. Kratší intervaly kontrol jsou nutné, aby nedošlo k takovému zhoršení stavu, který by vylučoval správnou funkci těchto přístrojů.

Ochrana před přepětím je v dnešní době nedílnou součástí elektrické sítě a zařízení, která tuto ochranu zajišťují, jsou poměrně spolehlivá. Součástí zajištění co nejvyšší spolehlivosti je pravidelná kontrola a údržba těchto zařízení. Některé metody diagnostiky mají vyšší vypovídající schopnost než jiné, proto by diagnostika měla být souborem komplexních zkoušek, sloužících k odhalení vadných svodičů a omezovačů přepětí. Vhodným výběrem metod a vhodným zvolením intervalů provedených kontrol eliminujeme vlivy působící na elektrické zařízení na nejnižší úroveň, avšak odhadnout počet přechodných dějů, vznikajících v soustavě vlivem provozu nebo vlastnostmi provozu, není snadné. Schopnost působení

svodičů a omezovačů přepětí se s dobou provozu snižuje a ideální by byla trvalá online diagnostika se záznamem působení nebo použití záznamu vyvedeného do řídicího systému a následného provedení diagnostiky. Mezi svodiči a omezovači přepětí v síti velmi vysokého napětí a vysokého napětí jsou značné cenové rozdíly. Také počet těchto zařízení v síti vysokého napětí je vyšší. Proto se provádění diagnostiky u svodičů a omezovačů přepětí v síti vysokého napětí podle řádů preventivní údržby omezuje v převážné většině na levnější varianty diagnostiky s větším množstvím zkontrolovaných zařízení v krátkém časovém intervalu. Využívá se zejména termovizní diagnostika nebo měření částečných výbojů. U svodičů a omezovačů přepětí v síti velmi vysokého napětí se využívá podrobnější diagnostika. Provádíme měření teploty, měření třetí harmonické odporové složky proudu, měření částečných výbojů, měření referenčního napětí, měření svodových proudů a měření zapalovacího napětí.

Z uvedených rozborů a výsledků provedených měření vyplývá, že vliv provozu a vlastností prostředí mají na tato zařízení negativní účinky a bez pečlivé kontroly stavu zařízení by mohla být ohrožena kvalitní dodávka elektrické energie.

Seznam literatury

- [1] Havelka, O. a kol.: *Elektrické přístroje*, 1.Vyd. Praha 1985, 440 s. ISBN 04-529-85
- [2] Kreidl, M., Šmíd R.: *Technická diagnostika, 4.díl*, BEN Praha 2006.
- [3] Mach, V.: *Technika vysokého napětí*, 2. Vyd. Ostrava: 2001, 110 s. ISBN 80-7078-879-8
- [4] Veverka, A.: *Technika vysokých napětí*, 2. vyd. Praha: SNTL 1978, 296 s. ISBN 04-512-78.
- [5] Zajíc, V.: *Vypínače na vysoké napětí*, 1.Vyd. Praha 1954, 348 s. ISBN 301-05-34
- [6] ČSN 33 2000-5-51:2000, *Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení - Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení - Kapitola 51: Všeobecné předpisy*
- [7] ČSN EN 61643-11: 1998, *Ochrany před přepětím nízkého napětí -Část 11: Přepěťová ochranná zařízení zapojená v sítích nízkého napětí:Požadavky a zkoušky*
- [8] ČSN EN 60270: 2001, *Technika zkoušek vysokým napětím - Měření částečných výbojů*
- [9] ČSN EN 60099-5:1999/A1 *Svodiče přepětí - Část 5: Doporučení pro volbu a použití.*
- [10] Hassman, T.: *-Přepětí v elektroenergetických soustavách*, 1. Vyd. Praha: ČVUT Praha 1997, 129 s. ISBN 80-01-01699-4.
- [11] Koudelka, C., Vrána V, *Ochrana před přepětím*, VŠB TUO, Ostrava 2006.
- [12] Prskavec, L.: *Měření částečných výbojů*, Semestrální projekt
- [13] Veverka, A.: *Diagnostika vypínačů vvn*, Bakalářská práce VŠB TUO – Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ostrava 2011
- [14] Metodika ČDS: *Pracovní postupy - Diagnostika svodičů přepětí*
- [15] Zkušební metodika AZVN: 2002, *Diagnostické zkoušky svodičů přepětí-Bezjiskřišťové omezovače*
- [16] Zkušební metodika AZVN: 2002, *Diagnostické zkoušky svodičů přepětí-Ventilovébleskojistky*
- [17] Katalog výrobce, *Tridelta_96kV102kV108kV-ZnO-10-kA-3.tr.*
- [18] Uživatelská příručka měřicího přístroje LCM II.
- [19] <http://homen.vsb.cz/~mah30/pokrocily/html/6transformatory.html>
- [20] <http://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>